



МИНИСТЕРСТВО ОСВИТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Национальный транспортный университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению гидравлических расчетов открытого потока в
трапецидальном русле с помощью табличного процессора EXCEL

для студентов специальностей:

7.092105 – «Автомобильные дороги та аэродромы»

7.092106 – «Мости і транспортные туннели

(всех форм обучения)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

Національний транспортний університет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению гидравлических расчетов открытого потока в
трапецеидальном русле с помощью табличного процессора EXCEL

для студентов специальностей:

7.092105 – «Автомобильные дороги та аеродроми»

7.092106 – «Мости и транспортные туннели»

(всех форм обучения)

Утверждено на заседании
Учебно-методического сове-
та НТУ
протокол № _____
от _____ 2009 г.

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

УДК 532:004

ББК 30.123:32.81

М.Н.Цивин, Н.И.Клименко Методические указания по выполнению гидравлических расчетов открытого потока в трапецеидальном русле с помощью табличного процессора EXEL. НТУ(КАДИ).-К., 2009.-С.17

В методических указаниях рассматриваются примеры гидравлического расчета нормальных, критических глубин, сопряженных глубин гидравлического прыжка (перехода потока из бурного состояния в спокойное) в трапецеидальных руслах на основе применения специальных функций EXEL.

Работа предназначена для студентов специальностей: 7.092105 – «Автомобильные дороги та аэродромы»; 7.092106 – «Мости и транспортные туннели» (всех форм обучения) и может быть использовано инженерно-техническими работниками, занятыми проектированием систем дорожного водоотвода.

© Национальный транспортный университет (КАДИ), 2009

© Цивін М.Н., 2009.

ВСТУПЛЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с рабочими учебными планами и учебными программами курсов в «Механика жидкости и газа», «Гидравлика, гидрология, гидрометрия» для студентов направления подготовки 0921 «Строительство» очной и заочной форм обучения.

Выполнения контрольной (расчетной) работы определено рабочей программой курса, а ее направленность и содержание – преподавателем, который ведет практические занятия и курсовое проектирование в зависимости от длительности учебного семестра.

При составлении Методических указаний учитывался многолетний опыт самостоятельной работы и студентов НТУ(КАДИ). Методические указания ориентированы на методический комплекс исследований, подготовленный и изданный кафедрой «Мости и туннели » НТУ (КАДИ).

Цель контрольной (расчетной) работы

Целью расчетной работы является закрепление теоретических знаний и практических навыков, полученных студентами во время лекционного курса, практических и лабораторных занятий, связанных с вопросами движения воды в призматических руслах.

Теоретические положения и основные расчетные зависимости

При расчёте нормальных или критических глубин, определении сопряжённых глубин или расчёте сжатой глубины за перепадом в руслах трапециевидальной формы возникают трудности, заключающиеся в том, что уравнения не решаются прямым вычислением на калькуляторе. Так, для определения нормальных или критических глубин рассчитываются вспомогательные гидравлические параметры, затем строятся графики и по ним определяются глубины.

Для определения сопряженных глубин гидравлического прыжка или расчёта сжатой глубины за перепадами используют графики А. Н. Рахманова, В.Н.Попова и др.

В настоящих методических указаниях рассматривается только один способ расчёта основных гидравлических параметров в руслах трапециевидальной формы – с помощью табличного процессора EXCEL.

Методические указания предназначены для студентов, которые имеют начальные навыки работы с EXCEL.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПОТОКА – h_0

Нормальной глубиной называется глубина равномерного потока и определяется из основного уравнения равномерного движения

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i} = K_0 \sqrt{i}, \quad (1)$$

где Q – расход воды проходящей по призматическому водоводу; ω_0 – площадь поперечного сечения при глубине равной h_0 ; C_0 - коэффициент Шези, определяемый по следующим зависимостям:

$$C_0 = \frac{1}{n} R_0^y \quad (\text{по Н.Н.Павловскому}); \quad (2)$$

$$C_0 = \frac{1}{n} R_0^{\frac{1}{6}} \quad (\text{по Маннингу}); \quad (3)$$

R_0 – гидравлический радиус, определяемый по соотношению

$$R_0 = \frac{\omega_0}{\chi_0}, \quad (4)$$

χ_0 – смоченный периметр при глубине потока равном h_0 ; K_0 – расходная характеристика.

Для русел трапецеидального поперечного сечения (частным случаем которых являются прямоугольные и треугольные русла) (Рис. 1) площадь поперечного сечения ω , величина смоченного периметра χ и ширина потока по верху B могут быть выражены следующими соотношениями

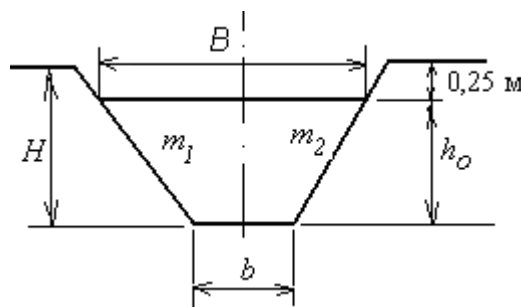


Рис. 1. Переріз нагірної канави

$$\omega = h \left(b + \frac{m_1 + m_2}{2} h \right), \quad (5)$$

$$\chi = b + h \left(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2} \right). \quad (6)$$

$$B = b + h(m_1 + m_2). \quad (7)$$

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

Перепишем уравнение (1) следующим образом

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0}, \quad (8)$$

В данном уравнении правая часть является функцией от глубины потока h_0 .

Уравнение (8) относится к разряду трансцендентных уравнений и не решается напрямую относительно неизвестной величины h_0 .

В связи с этим значительная часть учебного времени уходит на изучение способов решения трансцендентных уравнений (методы подбора, графоаналитические методы и др.), вместо рассмотрения различных вариантов самой задачи.

Использование табличного процессора EXCEL позволяет существенно упростить решение таких задач.

Исходный алгоритм решения задач

Для решения указанного типа задач используется функция «**Подбор параметра**», входящая в пункт основного меню «**Сервис**». Подбор параметра является частью блока задач, который иногда называют инструментами анализа «**что-если**». Эта функция дает желаемый результат, если известен результат решаемой формулы, но неизвестны значения аргумента, которые необходимо ввести для получения этого результата. При «**Подборе параметра**» Microsoft Excel изменяет значение в одной конкретной ячейке до тех пор, пока формула, зависящая от этой ячейки, не возвращает нужный результат.

Решение задачи по определению нормальной глубины потока с помощью функции EXCEL «Подбор параметра»

Для решения данной задачи подготовим рабочую книгу табличного процессора EXCEL. Для этого в ячейки a1, ..., a7 ; a9, ..., a15 и a17, a18 вводим следующий пояснительный текст

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Текстовая информация</i>
a1	← Исходные данные
a2	← Уклон дна i
a3	← Ширина канала по дну b
a4	← Заложение откоса m_1
a5	← Заложение откоса m_2
a6	← Коэффициент шероховатости
a7	← Расчетный расход
a9	← Определение нормальной глубины
a10	← Площадь живого сечения w
a11	← Смоченный периметр
a12	← Гидравлически радиус
a13	← Коэффициент Шези
a14	← Расходная характеристика
a15	← K_0
a17	← Искомая величина
a18	← Нормальная глубина

В ячейки b_2, \dots, b_7 вводим числовые значения в соответствии с условием задачи.

В ячейки b_{10}, \dots, b_{15} вводим следующие расчетные зависимости

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Расчетные формулы</i>
b_{10}	← $=B18*(B3+0,5*(B4+B5)*B18)$
b_{11}	← $=B3+B18*(КОРЕНЬ(1+B4^2)+КОРЕНЬ(1+B5^2))$
b_{12}	← $=B10/B11$
b_{13}	← $=B12^{(1/6)}/B6$
b_{14}	← $=B10*B13*КОРЕНЬ(B12)$
b_{15}	← $=B7/КОРЕНЬ(B2)$

В ячейку b_{18} вводим любое произвольное число, например 1.

Рабочий лист должен иметь следующий вид (рис.2)

Дальнейший расчет посмотрим на примере: Расход $Q = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина трапецеидального русла по дну $b = 0,8 \text{ м}$; заложение откосов $m_1 = m_2 = 1,0$; коэффициент шероховатости русла $n = 0,02$; продольный уклон дна канала – $0,003$. Все расчёты выполняются в метрах.

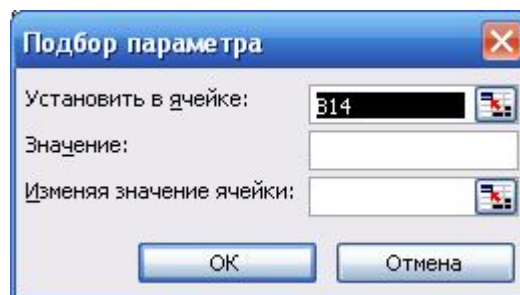
	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И
1	Исходные данные							
2	Уклон дна i	0,003						
3	Ширина канала по дну b	0,8						
4	Заложение откоса m1	1,0						
5	Заложение откоса m2	1,0						
6	Коэффициент шероховатости	0,02						
7	Расчетный расход	1,00						
8								
9	Определение нормальной глубины							
10	Площадь живого сечения w	1,800	=B18*(B3+0,5*(B4+B5)*B18)					
11	Смоченный периметр	3,628	=B3+B18*(КОРЕНЬ(1+B4^2)+КОРЕНЬ(1+B5^2))					
12	Гидравлический радиус	0,496	=B10/B11					
13	Коэффициент Шези	44,487	=B12^(1/6)/B6					
14	Расходная характеристика	56,400	=B10*B13*КОРЕНЬ(B12)					
15	K0	18,257	=B7/КОРЕНЬ(B2)					
16								
17	Искомая величина							
18	Нормальная глубина	1,000						
19								
20	Загружаем последовательно "Сервис", "Подбор параметров"							
21	В окно "Установить в ячейку" вводим адрес B14							
22	В окно "Значение" вводим данные ячейки B15							
23	В окно "Изменяем значение ячейки" вводим адрес B18							
24								

Рис.2

На рис.2 приведен рабочий лист, в который введены условия примера расчета.

Дальнейшие действия следующие:

1. Входим в пункт основного меню «СЕРВИС» и выбираем подпункт «ПОДБОР ПАРАМЕТРА...». Появляется следующее диалоговое окно

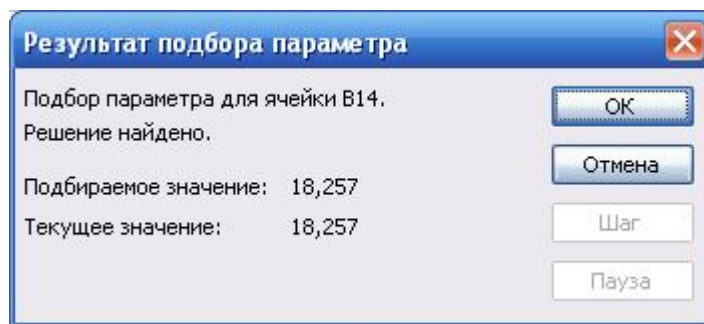


2. В окне «Установить в ячейке» указываем адрес ячейки со значением расходной характеристики – b14.

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

3. В окно «**Значение:**» вводим численное значение ячейки b15. (В нашем случае это величина равна 18,257).
4. В окно «**Изменяя значение ячейки:**» вводим адрес b18. (В этой ячейке появится искомое расчетное значение нормальной глубины)
5. После заполнения всех окон диалогового окна «**Подбор параметра**» нажимаем клавишу «ОК»

После нажатия клавиши «ОК» появится окно «Результат подбора параметра»



В ячейке b18 появится искомое значение нормальной глубины потока h_0 . Для условий примера эта величина равна 0,568 м.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ ПОТОКА – h_k .

Критическая глубина потока соответствует минимуму удельной энергии сечения и является критерием разделения потоки на бурные потоки и спокойные.

Численное значение критической глубины определяют из соотношения

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega_k^3}{B_k}, \quad (9)$$

Правая часть уравнения (9) является функцией от глубины потока, в данном случае, от глубины потока h_k . Уравнение (9) разрешимо относительно глубины потока только для русел прямоугольного, треугольного и параболического сечений. Для трапецидального сечения это уравнение решается только методом подбора. Однако эта задача также легко решается с помощью табличного процессора EXCEL.

Решение задачи по определению критической глубины потока с помощью функции EXEL «Подбор параметра»

Для решения данной задачи подготовим рабочую книгу табличного процессора EXEL. Для этого в ячейки a_1, \dots, a_6 и a_8, \dots, a_{13} вводим следующий пояснительный текст:

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Текстовая информация</i>
a_1	← Исходные данные
a_2	← Ширина канала по дну b
a_3	← Заложение левого откоса m_1
a_4	← Заложение правого откоса m_2
a_5	← Расчетный расход
a_6	← Коэффициент кин.энергии
a_8	← Определение критической глубины
a_9	← Площадь живого сечения
a_{10}	← Ширина по верху
a_{11}	← Критическая функция
a_{12}	← Q^2/g
a_{13}	← Искомая глубина

В ячейки b_2, \dots, b_6 вводим числовые значения в соответствии с условием задачи.

В ячейки b_9, \dots, b_{12} вводим следующие расчетные зависимости

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Расчетные формулы</i>
b_9	← $=B14*(B2+0,5*(B3+B4)*B14)$
b_{10}	← $=B2+B14*(B3+B4)$
b_{11}	← $=B9^3/B10$
b_{12}	← $=B6*(B5^2)/9,81$

В ячейку b_{14} вводим любое произвольное число, например 1.

Рабочий лист должен иметь следующий вид (рис.3)

Дальнейший расчет посмотрим на примере: Расход $Q = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина трапецеидального русла по дну $b = 0,8 \text{ м}$; заложение откосов $m_1 = m_2 = 1,0$. Все расчёты выполняются в метрах.

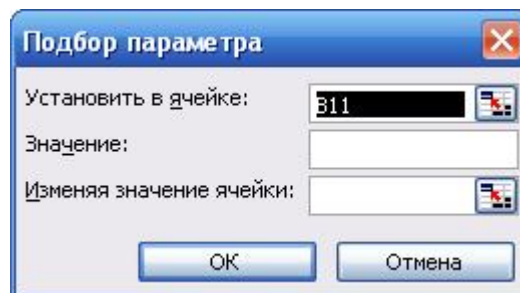
	A	B	C	D	E	F
1	Исходные данные					
2	Ширина канала по дну b	0,8				
3	Заложение левого откоса m1	1,0				
4	Заложение правого откоса m2	1,0				
5	Расчетный расход	1,00				
6	Коэффициент кин. энергии	1				
7						
8	Определение критической глубины					
9	Площадь живого сечения	1,800		=B14*(B2+0,5*(B3+B4)*B14)		
10	Ширина по верху	2,800		=B2+B14*(B3+B4)		
11	Критическая функция	2,083		=B9^3/B10		
12	Q2/g	0,102		=B6*(B5^2)/9,81		
13						
14	Искомая глубина	1,000				
15						
16	Инструкция					
17	Загружаем последовательно "Сервис", "Подбор параметров"					
18	В окно "Установить в ячейку" вводим адрес B11					
19	В окно "Значение" вводим данные ячейки B12					
20	В окно "Изменяем значение ячейки" вводим адрес B14					
21						

Рис 3.

На рис.3 приведен рабочий лист, в который введены условия примера расчета.

Дальнейшие действия следующие:

1. Входим в пункт основного меню «СЕРВИС» и выбираем подпункт «ПОДБОР ПАРАМЕТРА...». Появляется следующее диалоговое окно

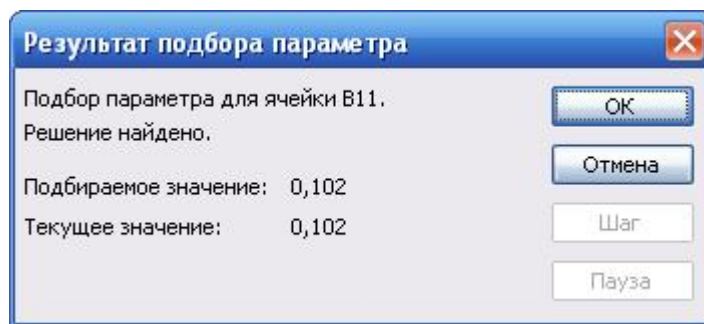


2. В окне «Установить в ячейке» указываем адрес ячейки со значением расходной характеристики – b11.

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

3. В окно «**Значение:**» вводим численное значение ячейки b12. (В нашем случае это величина равна 0,102).
4. В окно «**Изменяя значение ячейки:**» вводим адрес b14. (В этой ячейке появится искомое расчетное значение критической глубины)
5. После заполнения всех окон диалогового окна «**Подбор параметра**» нажимаем клавишу «ОК»

После нажатия клавиши «ОК» появится окно «Результат подбора параметра»



В ячейке b14 появится искомое значение критической глубины потока h_k . Для условий примера эта величина равна 0,447 м.

3. Расчет совершенного гидравлического прыжка в трапецидальном русле с помощью функции EXCEL «Подбор параметра»

Гидравлический прыжок – это резкое увеличение глубины потока от величины h_1 , меньшей h_k , до величины потока h_2 , большей h_k . (определение Р.Р.Чугаева)

Здесь h_1 и h_2 соответственно глубины потока до и после гидравлического прыжка, h_k - критическая глубина.

Основное уравнение гидравлического прыжка в горизонтальном гладком призматическом русле имеет следующий вид

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_1} + y_1 \omega_1 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_2} + y_2 \omega_2, \quad (10)$$

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

где ω – площадь живого сечения; y – глубина погружения центра тяжести площади живого сечения.

Величину площади живого сечения ω считаем по формуле(5), а величину y подсчитываем по следующей зависимости

$$y = \frac{h}{6} \frac{3b + 2mh}{b + mh}. \quad (11)$$

При расчете прыжка используем понятие прыжковой функции $\Pi(h)$

$$\Pi(h) = \frac{\alpha_0 Q^2}{g\omega} + y\omega. \quad (12)$$

Уравнение (10) явно разрешимо только для русел прямоугольного сечения, для других видов поперечного сечения, данное уравнение решается методом подбора. Рассмотрим решения данной задачи методами табличного процессора EXEL.

Для решения данной задачи подготовим рабочую книгу табличного процессора EXEL. Для этого в ячейки a1, ..., a5 и a8, ..., a13 вводим следующий пояснительный текст:

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Текстовая информация</i>
a1	← Исходные данные
a2	← Ширина канала по дну b
a3	← Заложение откоса m1
a4	← Начальная глубина прыжка
a5	← Расчетный расход
a7	← Определение второй сопряженной глубины
a8	← Площадь живого сечения ω_2
a9	← Глубина погружения ЦТ2
a10	← Прыжковая функция П2
a11	← Площадь живого сечения ω_1
a12	← Глубина погружения ЦТ1
a13	← Прыжковая функция П1

В ячейки b2, ..., b5 вводим числовые значения в соответствии с условием задачи.

В ячейки b9, ..., b13 вводим следующие расчетные зависимости

<i>Адрес ячейки</i>	<i>Расчетные формулы</i>
B9	← =B15*(B2+B3*B15)
b10	← =(B15/6)*(3*B2+2*B3*B15)/(B2+B3*B15)

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

$$\begin{aligned}
 b_{11} &\leftarrow =B5^2/(9,81*B8)+B9*B8 \\
 b_{12} &\leftarrow =B4*(B2+B3*B4) \\
 b_{13} &= (B4/6)*(3*B2+2*B3*B4)/(B2+B3*B4)
 \end{aligned}$$

В ячейку b_{15} вводим любое произвольное число, например 1.

Рабочий лист должен иметь следующий вид (рис.3)

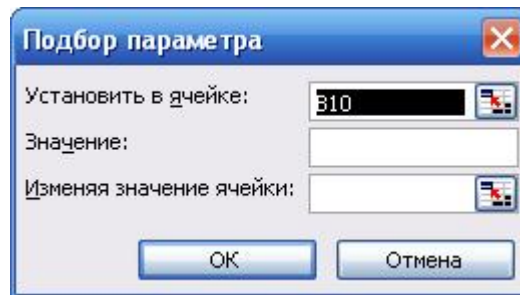
Дальнейший расчет посмотрим на примере: Расход $Q = 16,0 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина трапецидального русла по дну $b = 7 \text{ м}$; заложение откосов $m 1,5$. Первая сопряженная глубина $h_1 = 0,5 \text{ м}$. Все расчёты выполняются в метрах.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Исходные данные						
2	Ширина канала по дну b	7					
3	Заложение откоса m1	1,5					
4	Начальная глубина прыжка	0,5					
5	Расчетный расход	16					
6							
7	Определение второй сопряженной глубины						
8	Площадь живого сечения w2	8,500	=B15*(B2+B3*B15)				
9	Глубина погружения ЦТ2	0,471	=(B15/6)*(3*B2+2*B3*B15)/(B2+B3*B15)				
10	Прыжковая функция П2	7,070	=B5^2/(9,81*B8)+B9*B8				
11	Площадь живого сечения w1	3,875	=B4*(B2+B3*B4)				
12	Глубина погружения ЦТ1	0,242	=(B4/6)*(3*B2+2*B3*B4)/(B2+B3*B4)				
13	Прыжковая функция П1	7,672	=B5^2/(9,81*B11)+B11*B12				
14							
15	Вторая сопряженная глубина h2	1,000					
16							
17	Инструкция						
18	Загружаем последовательно "Сервис", "Подбор параметров"						
19	В окно "Установить в ячейку" вводим адрес B12						
20	В окно "Значение" вводим данные ячейки B16						
21	В окно "Изменяем значение ячейки" вводим адрес B18						
22							
23							

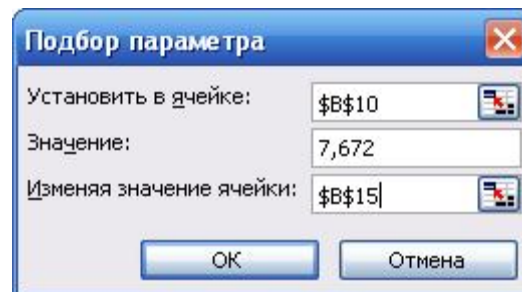
Дальнейшие действия следующие:

Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

1. Входим в пункт основного меню «СЕРВИС» и выбираем подпункт «ПОДБОР ПАРАМЕТРА...». Появляется следующее диалоговое окно



2. В окне «Установить в ячейке» указываем адрес ячейки со значением расходной характеристики – b_{10} .
3. В окне «Значение:» вводим численное значение ячейки b_{13} . (В нашем случае это величина равна 7,672).
4. В окне «Изменяя значение ячейки:» вводим адрес b_{15} . (В этой ячейке появится искомое расчетное значение второй сопряженной глубины). Вид заполненного окна «Подбор параметров» приведен ниже:



5. После заполнения всех окон диалогового окна «Подбор параметра» нажимаем клавишу «ОК»

После нажатия клавиши «ОК» появится окно «Результат подбора параметра»



Материалы взяты с сайта WWW.HYDRAULICS.AT.UA

В ячейке $b15$ появиться искомое значение второй сопряженной глубины гидравлического прыжка h_2 . Для условий примера эта величина равна 1,104 м.