

А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин, Л. А. Воеводина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ЖИВОГО СЕЧЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

Цель: разработка алгоритмов и принципов создания программного обеспечения для расчета элементов живого сечения осушительных каналов мелиоративных систем различных форм. Проектирование гидротехнических сооружений – сложный процесс, включающий различные операции, в т. ч. и расчеты, которые могут являться исходными данными для производства графической части разрабатываемого проекта. Автоматизация процесса расчета с применением программного обеспечения позволяет ускорить сам процесс расчета, рассчитать несколько вариантов и выбрать наилучший, избавиться от ошибок вследствие минимизации воздействия человеческого фактора. **Материалы и методы.** В качестве основного исходного материала, содержащего гидравлические расчеты осушительных каналов, использовались справочники по мелиорации и водному хозяйству. Построение алгоритмов производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). Обработка числовых данных осуществлялась с использованием методов математической статистики. **Результаты.** Алгоритмы программного обеспечения разработаны для дальнейшего использования в программной среде Microsoft Excel, позволяют рассчитать все необходимые геометрические параметры живого сечения осушительных каналов различных форм и скорректированы под ее функциональные возможности. Для автоматизации расчетов в среде Microsoft Excel, в частности для расчета элементов живого сечения осушительных каналов параболической, комбинированной и параболической формы с донной вставкой, возникла необходимость в дополнительной корректировке исходного материала при расчете параметра параболы и функции параболического сечения. **Выводы.** Разрабатываемое программное обеспечение позволяет производить расчет элементов живого сечения осушительных каналов трапецеидальной, параболической, комбинированной, полигональной и параболической формы с донной вставкой и может быть реализовано в качестве калькулятора для выполнения работ по проектированию осушительных каналов мелиоративного назначения.

Ключевые слова: живое сечение канала; форма канала; осушительный канал; проектирование; алгоритм.

A. L. Kozhanov, O. V. Voyevodin, L. A. Voyevodina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ALGORITHMS FOR CALCULATING THE FLOW CROSS-SECTION ELEMENTS OF VARIOUS SHAPED DRAINAGE CANALS

Objective: the development of algorithms and principles for creating software for calculating the flow cross-section elements of drainage canals of irrigation systems of various shapes. The design of hydraulic structures is a complex process, which comprises various op-



erations, including calculations, which can be the inputs for the graphic part production of the developed project. Calculation process automation using software allows to accelerate the calculation process, to calculate several options and choose the best one, to get rid of errors due to the human factor impact minimizing. **Materials and Methods.** As the main initial material containing hydraulic calculations of drainage canals, reference books on land reclamation and water management were used. The algorithm design was carried out in accordance with the requirements of GOST 19.701-90 (ISO 5807-85). Number crunching was carried out using methods of mathematical statistics. **Results.** The software algorithms designed for further use in the Microsoft Excel software environment allow calculate all the necessary geometric parameters of the flow cross-section of drainage canals of various shapes and are adjusted for its functionality. To automate calculations in the Microsoft Excel environment, in particular, to calculate the flow cross-section elements of the drainage canals of a trapezoid, parabolic, combined, and parabolic shape with a bottom insert, there was a need for additional adjustment of the initial material when calculating the parabola parameter and the parabolic section function. **Conclusions.** The software under development allows calculate the flow cross-section elements of the drainage canals of a trapezoidal, parabolic, combined, polygonal and parabolic form with a bottom insert and can be implemented as a calculator for designing drainage canals of reclamation purposes.

Key words: flow cross-section of the canal; canal shape; drainage canal; design; algorithm.

Введение. По данным В. Н. Щедрина и др. [1], «основные фонды осушительных систем в среднем по Российской Федерации изношены на 57,6 %». Основное направление восстановления и дальнейшего развития мелиорации в России, в частности на территориях с избыточным увлажнением, – создание новых осушительных массивов, которые необходимо организовывать с учетом вопросов интенсификации производства [2]. Разработка программных продуктов, востребованных в мелиоративной отрасли, происходит постоянно. Это касается совершенствования комплексных и сложных программ проектирования, таких как IRRICAD [3], PivotMapper, IrriMaker [4], IrriExpress [5], и программ, нацеленных на выполнение отдельных узкоспециализированных задач, например, для проектирования компонентов, используемых в микроорошении [6], для определения наиболее выгодной спринклерной системы орошения при надлежащей эксплуатации [7], оценки ежегодной инфильтрации в придорожных понижениях [8].

Согласно А. С. Штанько [9, 10], «...каналы осушительных систем (регулирующей, проводящей и оградительной сетей) должны иметь устойчивое русло, обеспечивающее пропуск расчетных расходов. Обеспечение этих требований зависит от правильно произведенного в процессе проекти-

рования выбора вида поперечного сечения и его геометрических параметров в зависимости от геологических, функциональных и других требований».

Проектировать и строить каналы необходимо с гидравлически наиболее выгоднейшим сечением [11], что достигается путем цикла расчетов геометрических параметров всех форм поперечных сечений.

Проектирование гидротехнических сооружений является сложным процессом, включающим различные операции, в т. ч. и расчеты, которые в свою очередь являются исходными данными для производства графической части разрабатываемого проекта. Автоматизация процесса расчета с применением программного обеспечения позволяет ускорить сам процесс расчета, рассчитать несколько вариантов и выбрать наилучший, избавиться от ошибок вследствие воздействия человеческого фактора.

По высказываниям С. М. Васильева [12], разработка новых программ для ЭВМ для расчета элементов осушительной части мелиоративных систем (осушительные каналы оградительной, проводящей и регулирующей сетей, дрена, коллекторы, дамбы, подпорные сооружения и т. д.) и др. позволит также автоматизировать процесс проектирования мелиоративных систем двойного регулирования.

Приступая к разработке программного обеспечения, определяют ее назначение, заключающееся в возможности расчета элементов живого сечения осушительных каналов различных форм: трапециoidalной, параболической, комбинированной, полигональной и параболической с донной вставкой [13, 14]. Программное обеспечение может быть реализовано в качестве калькулятора для выполнения работ по проектированию осушительных каналов.

В связи с вышеизложенным целью исследований является разработка алгоритмов и принципов создания программного обеспечения для расчета элементов живого сечения осушительных каналов различных форм.

Материалы и методы. В качестве основного исходного материала, содержащего гидравлические расчеты осушительных каналов, использова-

лись справочники [13, 14]. Построение алгоритмов производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85)¹.

Алгоритмы программного обеспечения разработаны для дальнейшего использования в программной среде Microsoft Excel и скорректированы под ее функциональные возможности. Обработка числовых данных производилась с использованием методов математической статистики.

Результаты и обсуждения. В ходе анализа исходного материала, содержащего гидравлические расчеты, расчеты геометрических параметров поперечных сечений осушительных каналов [13, 14], выявлены основные блоки программы по выбору формы поперечного сечения осушительных каналов, которая будет использоваться при дальнейшей разработке алгоритмов расчета геометрических параметров живого сечения осушительных каналов различных форм (рисунок 1).

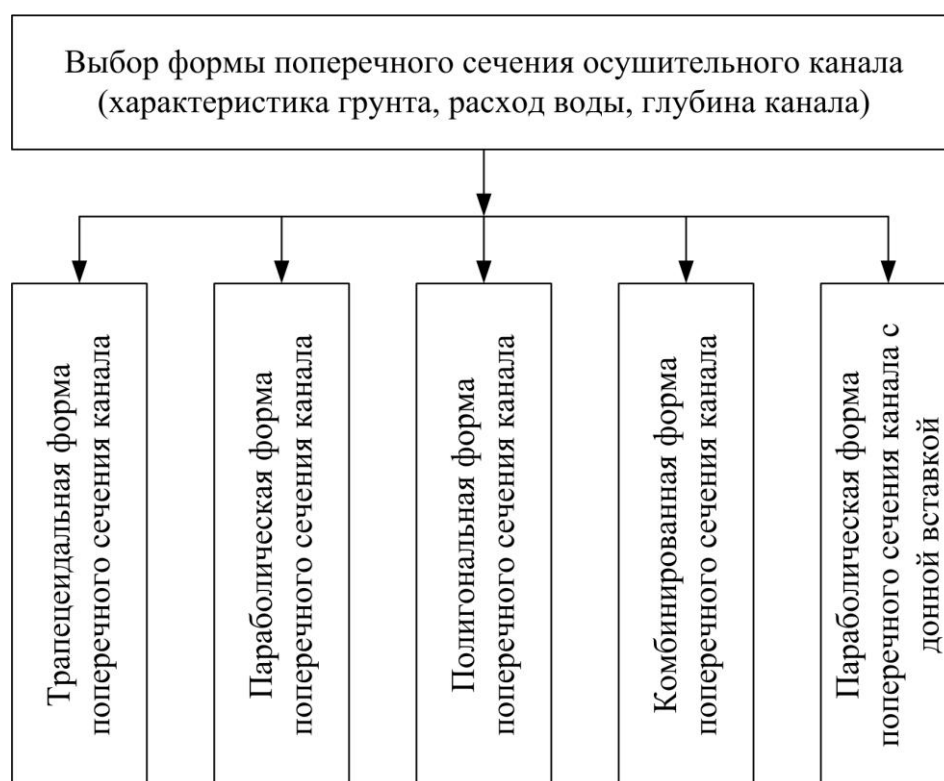


Рисунок 1 – Схема выбора формы поперечного сечения осушительного канала

¹ ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – Введ. 1992-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 23 с.

На первоначальном этапе разработки программы был составлен алгоритм выбора формы поперечного сечения канала проводящей сети в зависимости от характеристики грунта, расхода воды и глубины канала, а также выбор основных параметров регулирующей сети в зависимости от характеристики грунта, глубины канала, ширины по дну, коэффициента заложения откосов и используемых механизмов (расчет производится для трапецеидальной формы) (рисунок 2).

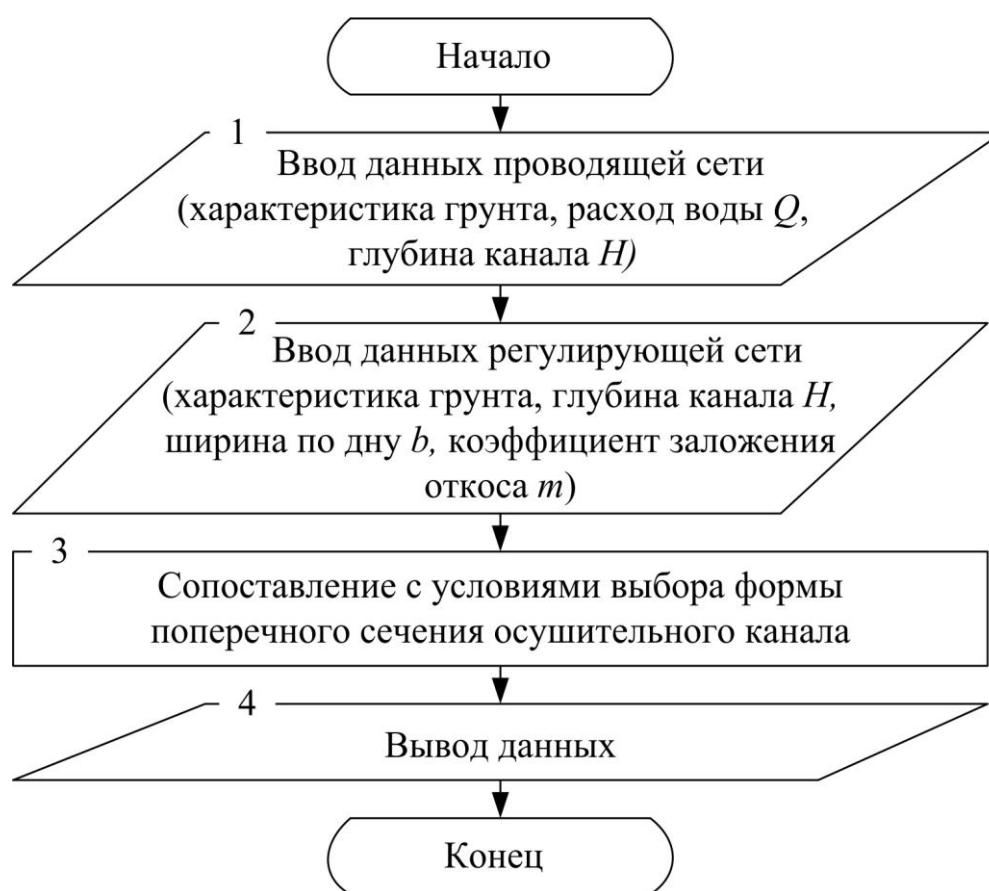


Рисунок 2 – Алгоритм выбора формы поперечного сечения осушительного канала

Используя данный алгоритм, на первоначальном этапе выбирают форму и основные параметры живого сечения осушительного канала проводящей и регулирующей сети мелиоративных систем. Для разработки программы нами были составлены алгоритмы расчета геометрических параметров живого сечения осушительных каналов различных форм (рисунки 3–7).

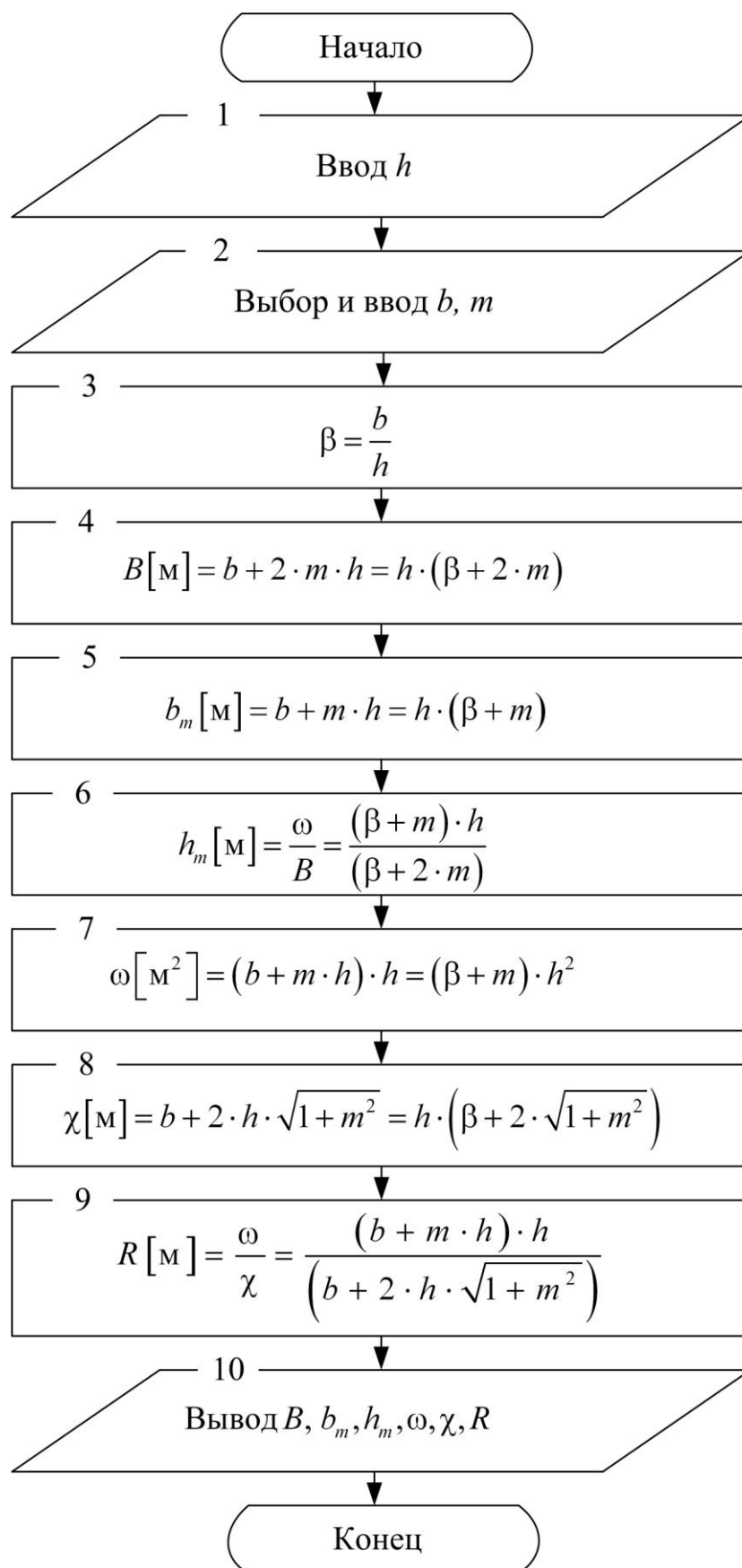


Рисунок 3 – Алгоритм расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала трапецидальной формы

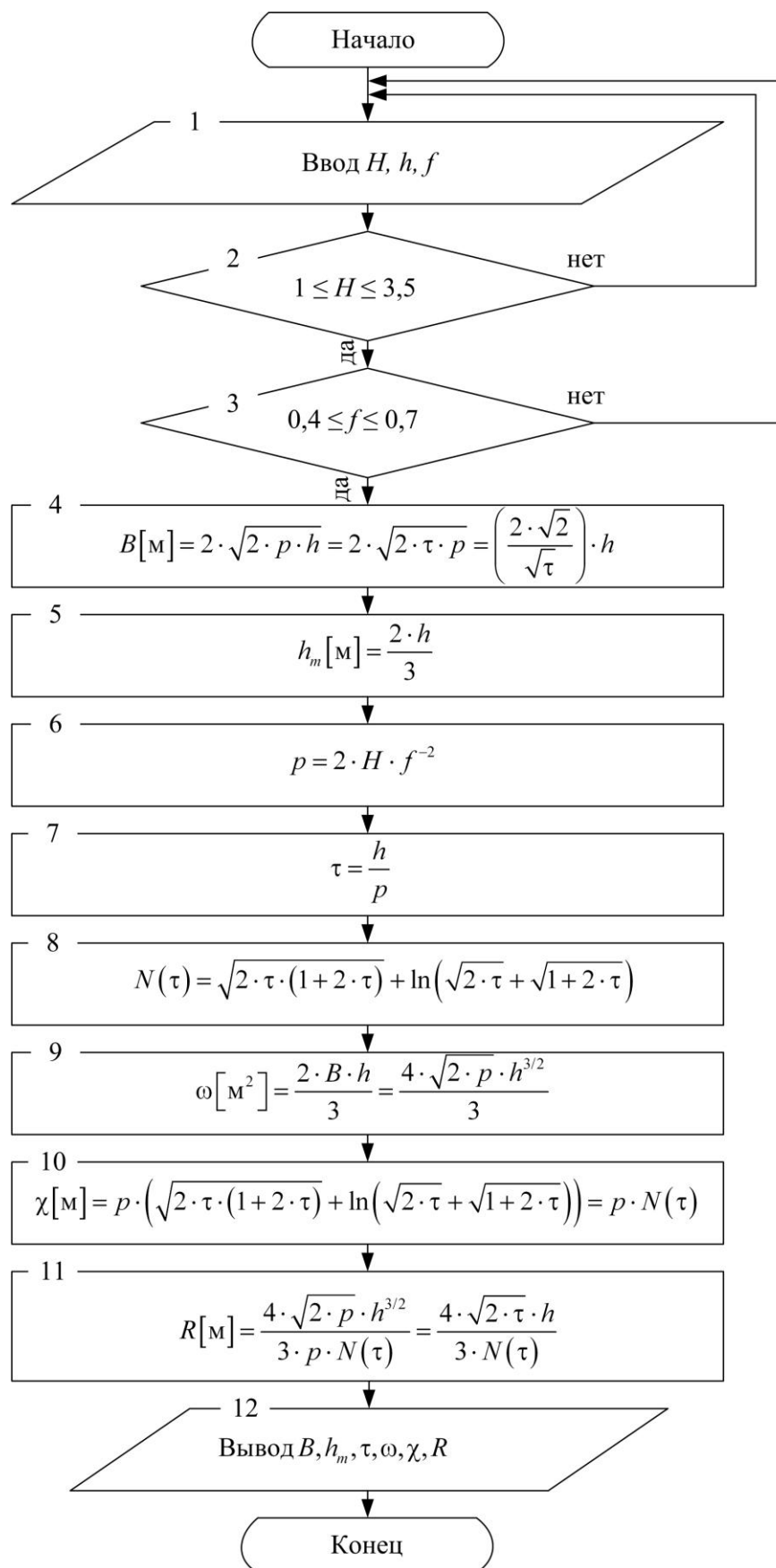


Рисунок 4 – Алгоритм расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала параболической формы

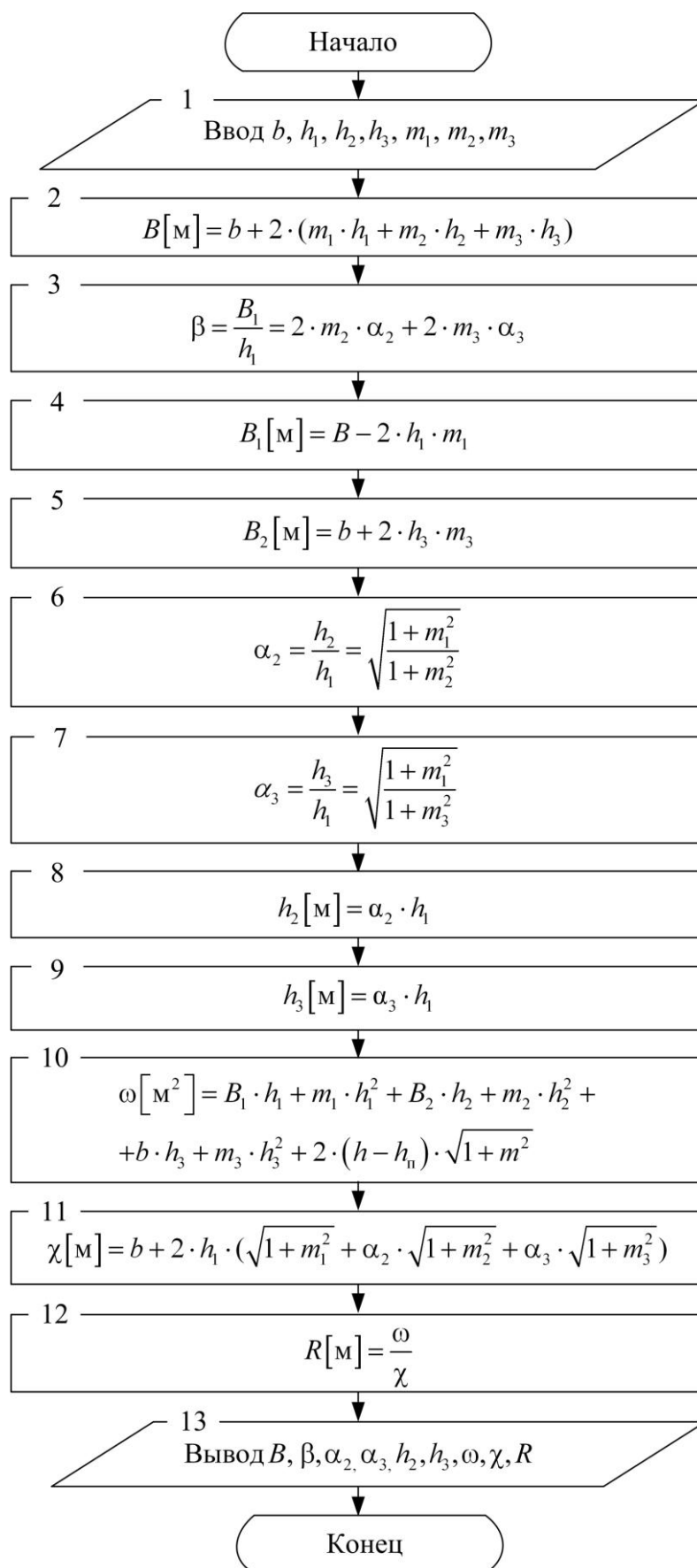


Рисунок 5 – Алгоритм расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала полигональной формы

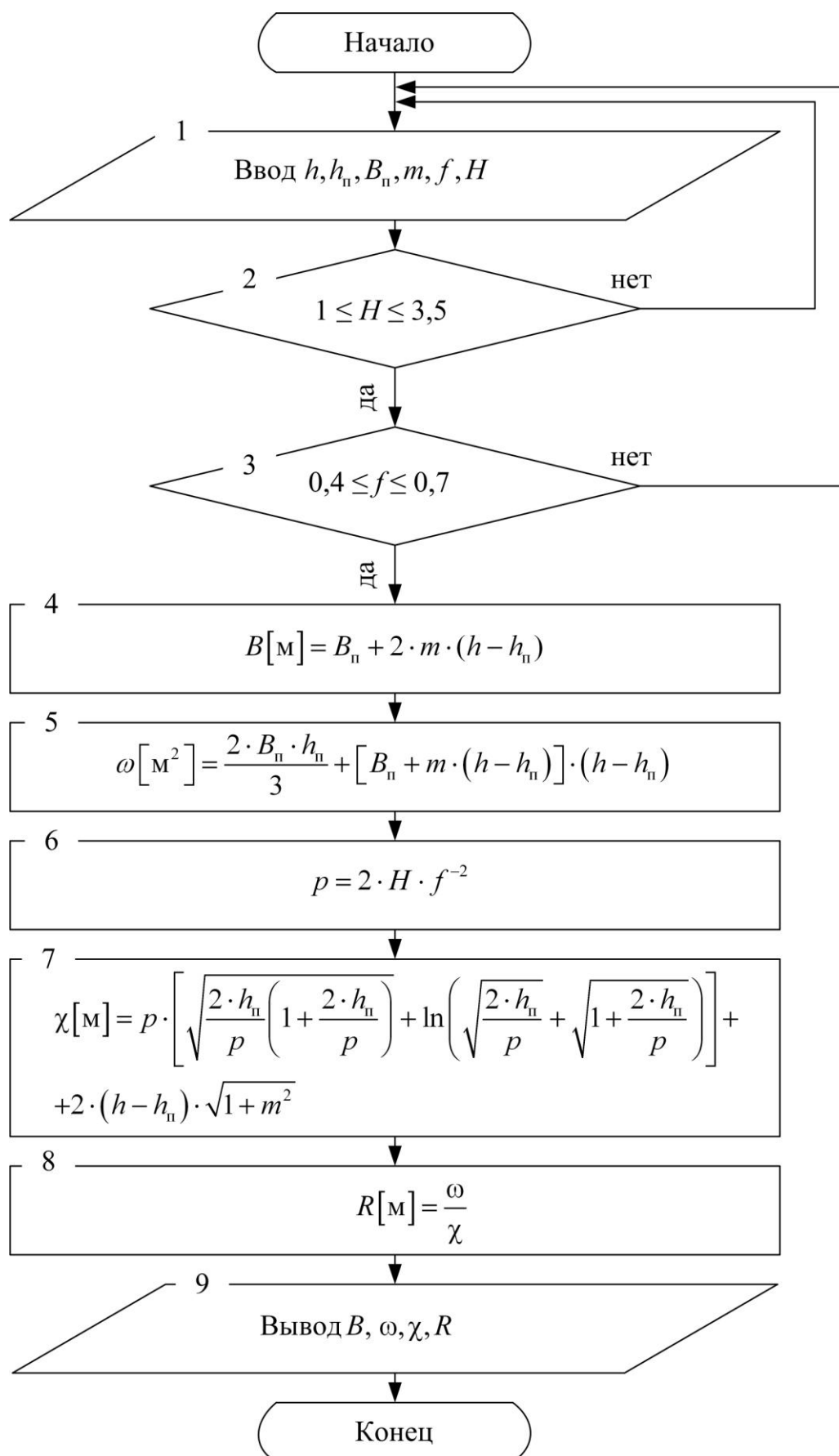


Рисунок 6 – Алгоритм расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала комбинированной формы

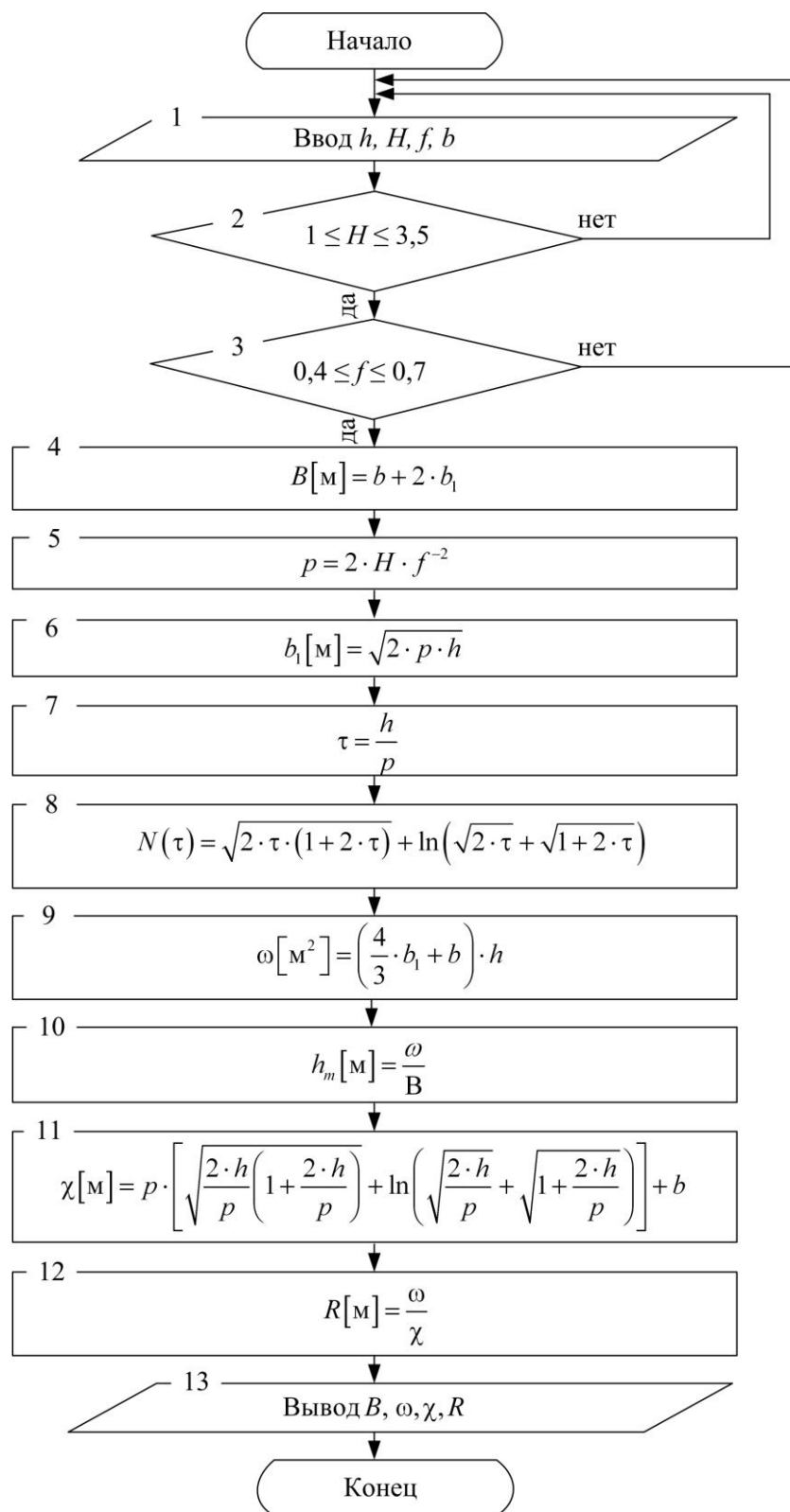


Рисунок 7 – Алгоритм расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала параболической формы с донной вставкой

Блок 1 алгоритма расчета геометрических параметров живого сечения осушительного канала трапецидальной формы (рисунок 3) включает

ввод глубины воды в канале (h , м), блок 2 – выбор из выплывающего списка и ввод ширины канала по дну и коэффициента заложения откосов.

Блок 3 алгоритма содержит расчет дополнительного показателя «относительная ширина по дну β », необходимого для дальнейшего расчета всех геометрических параметров живого сечения канала трапецеидальной формы.

Функционал блоков 4–9 заключается в расчете основных геометрических параметров.

Блок 10 отвечает за вывод результатов расчета следующих показателей: ширина поверху B (м), ширина средняя b_m (м), глубина средняя h_m (м), площадь сечения ω (м²), смоченный периметр χ (м), гидравлический радиус R (м).

Алгоритм расчета геометрических параметров канала параболической формы приведен на рисунке 4. Блок 1 включает ввод глубины русла (H , м), глубины воды в канале (h , м) и коэффициента внутреннего трения грунта в воде f .

Блоки 2 и 3 отвечают за проверку пределов введенных данных о глубине русла и коэффициенте внутреннего трения грунта в воде. Если введенные данные выходят за пределы, необходимо сверить правильность ввода данных, если введены правильно, но выходят за пределы блоков 2 и 3, необходимо в таких случаях применять трапецеидальную форму живого сечения осушительного канала.

Блоки 4, 5, 7, 9–11 включают расчет основных геометрических параметров живого сечения осушительного канала параболической формы, блоки 6 и 8 – расчет дополнительных параметров (параметр параболы p и функция параболического сечения $N(\tau)$), необходимых для вычисления основных параметров. Для автоматизации расчетов понадобились дополнительные корректировки и расчеты, которые приведены далее в статье.

Блок 12 отвечает за вывод результатов расчета следующих показате-

лей: ширина поверху B (м), глубина средняя h_m (м), характеристика живого сечения τ , площадь сечения ω (м²), смоченный периметр χ (м), гидравлический радиус R (м).

Алгоритм расчета геометрических параметров канала полигональной формы приведен на рисунке 5. Блок 1 включает выбор из списка, а также ввод исходных данных, таких как: ширина канала по дну (b , м), глубина верхней части канала без учета превышения бровки над уровнем воды (h_1 , м), глубина средней части канала (h_2 , м), глубина донной части канала (h_3 , м), коэффициент заложения верхних откосов (m_1), коэффициент средних откосов (m_2), коэффициент заложения донных откосов (m_3).

Блок 2 содержит расчет ширины канала поверху. На этапах 3–5 производится расчет дополнительных параметров, необходимых для дальнейших вычислений геометрических параметров данной формы поперечного сечения, таких как: относительная ширина по дну (β), ширина канала у подножья верхних откосов (B_1 , м), ширина канала у подножья средних откосов (B_2 , м).

Блоки 6–12 включают расчет геометрических параметров живого сечения осушительного канала полигональной формы.

Блок 13 отвечает за вывод результатов расчета следующих показателей: ширина поверху B (м), ширина относительная β , относительная глубина средней части α_2 , относительная глубина донной части α_3 , глубина средней части h_2 (м), глубина донной части h_3 (м), площадь сечения ω (м²), смоченный периметр χ (м), гидравлический радиус R (м).

Алгоритм расчета геометрических параметров канала комбинированной формы приведен на рисунке 6. Блок 1 включает ввод глубины воды в канале (h , м), глубины параболической части канала (h_{π} , м), ширины поверху параболической части канала (B_{π} , м), коэффициента заложения от-

косов трапецеидальной части канала (m), коэффициента внутреннего трения грунта в воде f и глубины русла (H , м).

Блоки 2 и 3 отвечают за проверку пределов введенных данных о глубине русла и коэффициенте внутреннего трения грунта в воде. Если введенные данные выходят за пределы, необходимо сверить правильность ввода данных, если введены правильно, но выходят за пределы блоков 2 и 3, необходимо в таких случаях применять трапецеидальную форму живого сечения осушительного канала.

Блоки 4 и 5 включают расчет ширины поверху B (м) и площади сечения ω (м²). Блок 6 включает расчет дополнительного параметра параболы p . Блоки 7 и 8 – расчет смоченного периметра и гидравлического радиуса. Блок 9 отвечает за вывод результатов расчета следующих показателей: ширина поверху B (м), площадь сечения ω (м²), смоченный периметр χ (м), гидравлический радиус R (м).

Алгоритм расчета геометрических параметров канала параболической формы с донной вставкой приведен на рисунке 7. Блок 1 включает ввод глубины воды в канале (h , м), глубины русла (H , м), коэффициента внутреннего трения грунта в воде f , ширины донной вставки (b , м).

Блоки 2 и 3 отвечают за проверку пределов введенных данных о глубине русла и коэффициенте внутреннего трения грунта в воде. Если введенные данные выходят за пределы, необходимо сверить правильность ввода данных, если введены правильно, но выходят за пределы блоков 2 и 3, необходимо в таких случаях применять трапецеидальную форму живого сечения осушительного канала.

В блоке 4 производится расчет ширины поверху B (м). Блоки 5–8 отвечают за расчет дополнительных параметров (параметр параболы p , ширина ветви параболы на глубине h b_1 , характеристика живого сечения τ , функция параболического сечения $N(\tau)$), необходимых для дальнейших расчетов.

В блоках 9–12 алгоритма производится расчет основных геометриче-

ских параметров. Блок 13 отвечает за вывод результатов расчета следующих показателей: ширина поверху B (м), площадь сечения ω (м²), смоченный периметр χ (м), гидравлический радиус R (м).

Для автоматизации расчетов в среде Microsoft Excel, в частности для расчета элементов живого сечения осушительных каналов параболической, комбинированной и параболической формы с донной вставкой, возникла необходимость в дополнительной корректировке материалов справочников [13, 14]. В данном случае при расчете параметра параболы и функции параболического сечения в справочниках [13, 14] используются табличные формы с данными. При этом производится выбор необходимого значения, в т. ч. и с применением интерполяции. Данный способ применим при единичных расчетах с использованием материалов справочников и вычислительного инструмента в виде калькулятора, однако не подходит для вычислений в среде Microsoft Excel. Стандартные инструменты Microsoft Excel в виде операций «ПРЕДСКАЗ» и «ТЕНДЕНЦИЯ» не позволяют с достаточной точностью справиться с поставленной задачей для нелинейных функций типа $x(y)$, а тем более $z(x, y)$. В связи с этим было принято решение для функции параболического сечения установить зависимости стандартными средствами Microsoft Excel (рисунки 8, 9), далее произвести выбор наилучшей, которая будет использоваться для расчетов.

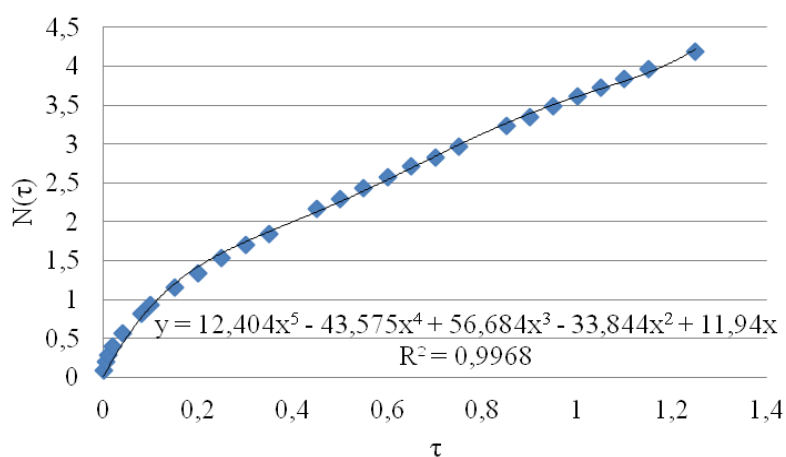


Рисунок 8 – Зависимость функции параболического сечения $N(\tau)$ от характеристики живого сечения τ при полиномиальной аппроксимации

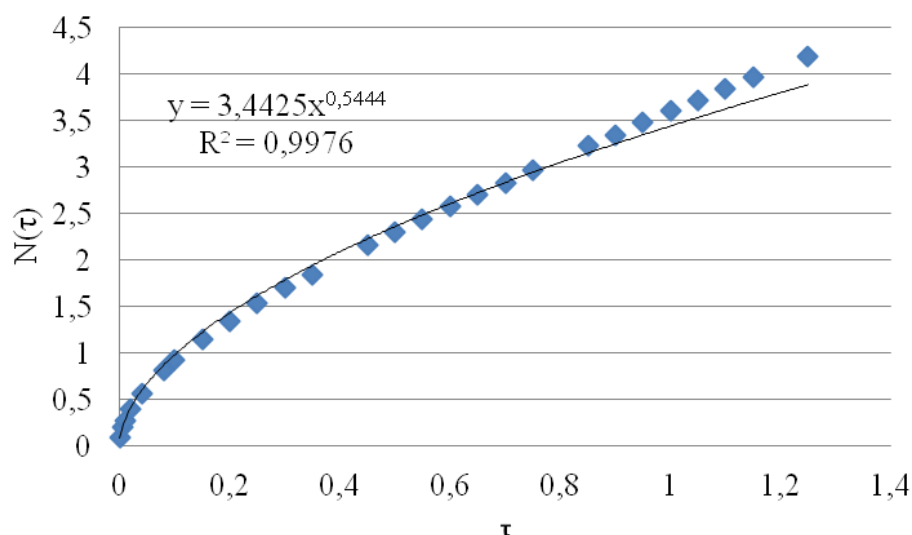


Рисунок 9 – Зависимость функции параболического сечения $N(\tau)$ от характеристики живого сечения τ при степенной аппроксимации

Однако при условии, что величины достоверности аппроксимации R^2 для полиномиальной и степенной функций близки к единице и соответственно равны 0,9968 и 0,9976, при визуальном анализе (рисунки 8, 9) возникли сомнения в достаточной точности, что и подтвердилось дальнейшими расчетами с использованием полученных зависимостей. Так, анализ полученных данных (столбцы 3 и 4 таблицы 1) показывает, что в принятом диапазоне от 0,001 до 1,25 при $\tau \rightarrow \min$ справочные значения $N(\tau)$ близки к расчетным значениям $N(\tau)$ при степенной аппроксимации, а при $\tau \rightarrow \max$ при полиномиальной аппроксимации.

Таблица 1 – Значения $N(\tau)$ при аппроксимации различными функциями и их среднеквадратичные отклонения

τ	$N(\tau)$	Значение $N(\tau)$ при аппроксимации		
		полиномиальной	степенной	по функции (1)
1	2	3	4	5
0,001	0,09	0,01	0,08	0,09
0,005	0,2	0,06	0,19	0,20
0,01	0,28	0,12	0,28	0,28
0,02	0,4	0,23	0,41	0,40
0,04	0,57	0,43	0,60	0,57
0,08	0,82	0,77	0,87	0,82
0,1	0,93	0,91	0,98	0,92
0,15	1,15	1,20	1,23	1,15
0,2	1,34	1,42	1,43	1,34

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
0,25	1,54	1,60	1,62	1,52
0,3	1,71	1,74	1,79	1,69
0,35	1,85	1,87	1,94	1,85
0,45	2,16	2,13	2,23	2,15
0,5	2,3	2,26	2,36	2,30
0,55	2,44	2,40	2,49	2,44
0,6	2,58	2,54	2,61	2,57
0,65	2,71	2,69	2,72	2,71
0,7	2,83	2,84	2,83	2,84
0,75	2,97	2,99	2,94	2,97
0,85	3,23	3,27	3,15	3,22
0,9	3,34	3,39	3,25	3,35
0,95	3,48	3,50	3,35	3,47
1	3,61	3,61	3,44	3,60
1,05	3,72	3,71	3,54	3,72
1,1	3,84	3,81	3,63	3,84
1,15	3,97	3,92	3,71	3,96
1,25	4,19	4,22	3,89	4,20
$\delta, \%$		3,35	5,34	0,34
Примечание – Данные столбцов 1 и 2 взяты из справочника [14].				

В результате преобразования формулы из справочника [14], по которой производится расчет смоченного периметра χ :

$$\chi = p \cdot (\sqrt{2 \cdot \tau \cdot (1 + 2 \cdot \tau)} + \ln(\sqrt{2 \cdot \tau} + \sqrt{1 + 2 \cdot \tau})) = p \cdot N(\tau),$$

получена функция параболического сечения $N(\tau)$:

$$N(\tau) = \sqrt{2 \cdot \tau \cdot (1 + 2 \cdot \tau)} + \ln(\sqrt{2 \cdot \tau} + \sqrt{1 + 2 \cdot \tau}), \quad (1)$$

где τ – характеристика живого сечения [14]:

$$\tau = \frac{h}{p},$$

где h – глубина воды в канале, м;

p – параметр параболы устойчивого русла (определяемый из условия устойчивости откоса в верхней точке параболы) для несвязных грунтов.

В результате аппроксимации данных таблицы 15.3 справочника [13] получена степенная функция для расчета параметра параболы устойчивого русла:

$$p = 2 \cdot H \cdot f^{-2},$$

где H – глубина канала, м;

f – коэффициент внутреннего трения грунта в воде.

Расчет по формуле (1) показал наибольшее сближение со справочными данными (см. столбец 5 таблицы 1), что также было подтверждено расчетом средней ошибки аппроксимации [15]:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (N(\tau)_{\text{расч.}} - N(\tau)_{\text{сп.}})^2} \cdot \frac{100\%}{N(\tau)_{\text{ср.}}},$$

где δ – средняя ошибка аппроксимации, %;

n – количество значений τ , шт.;

$N(\tau)_{\text{расч.}}$ – расчетное значение функции параболического сечения;

$N(\tau)_{\text{сп.}}$ – справочное значение функции параболического сечения;

$N(\tau)_{\text{ср.}}$ – среднее значение функции параболического сечения.

Выводы

1 Разрабатываемое программное обеспечение позволяет производить расчет элементов живого сечения осушительных каналов трапецеидальной, параболической, комбинированной, полигональной и параболической формы с донной вставкой, который может быть реализован в качестве калькулятора для выполнения работ по проектированию осушительных каналов.

2 При автоматизации расчетов в среде Microsoft Excel, в частности для расчета элементов живого сечения осушительных каналов параболической, комбинированной и параболической формы с донной вставкой, возникла необходимость в дополнительной корректировке исходного материала при расчете параметра параболы и функции параболического сечения.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Концептуальное обоснование разработки стратегии научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4(24). – С. 1–21. – Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec441-field6.pdf.

2 Щедрин, В. Н. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России / В. Н. Щедрин,

С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1(33). – С. 1–11. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11.

3 What we do [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.lincolnagritech.co.nz/about/what-we-do>, 2019.

4 IrriMaker consists of numerous functions [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.irrimaker.com/irrigation-software-functions>, 2019.

5 IrriExpress: Powerful, Simple, Intuitive Irrigation Designer [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.irriexpress.com>, 2019.

6 DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies / C. V. Palau, J. Arviza, I. Balbastre, J. Manzano // *Scientia Agricola*. – 2019. – Vol. 77, № 3. – 8 p. – DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184.

7 Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain / F. Carrion, J. Montero, J. M. Tarjuelo, M. A. Moreno // *Water Resources Management*. – 2014. – № 14, vol. 28. – P. 5073–5089. – <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>.

8 Garcia-Serrana, M. Calculator to Estimate Annual Infiltration Performance of Roadside Swales / M. Garcia-Serrana, J. S. Gulliver, J. L. Nieber // *Journal of Hydrologic Engineering*. – 2018. – Vol. 23. – 04018017. – DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001650.

9 Штанько, А. С. Современное состояние нормативного обеспечения выбора поперечного сечения и геометрических параметров осушительных каналов при их проектировании / А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2013. – Вып. 51. – С. 128–133.

10 Штанько, А. С. Нормативно-методическое обеспечение подбора параметров поперечного сечения осушительных каналов при их проектировании / А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Вып. 54. – С. 80–83.

11 Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие / М. В. Нестеров. – Минск: Новое знание, 2006. – 616 с.

12 Васильев, С. М. Моделирование процесса проектирования элементов осушительной части мелиоративной системы двойного регулирования водного режима / С. М. Васильев, А. Л. Кожанов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1(01). – С. 113–128. – Режим доступа: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf.

13 Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / Б. С. Маслов [и др.]; под ред. Б. С. Маслова. – М.: Ассоциация Экост, 2001. – 606 с.

14 Мелиорация и водное хозяйство. Сооружения. Строительство: справочник / Б. М. Кизяев [и др.]; под ред. А. В. Колганова, П. А. Полад-заде. – М.: Ассоциация Экост, 2002. – 601 с.

15 Ивченко, Г. И. Введение в математическую статистику / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – М.: ЛКИ, 2010. – 599 с.

References

1 Schedrin V.N., Balakai G.T., Vasil'ev S.M., 2016. [The conceptual basis for the development of a strategy for scientific and technical support for the development of land reclamation in Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(24), pp. 1-21, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec441-field6.pdf. (In Russian).

2 Schedrin V.N., Vasil'ev S.M., 2019. [Conceptual and methodological principles (foundations) of strategy for land reclamation development as a national treasure of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 1-11, available:

<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585>, DOI: 10.31774 / 2222-1816-2019-1-1-11. (In Russian).

3 What we do [Electronic resource], available: <https://www.lincolnagritech.co.nz/-about/what-we-do> [accessed 2019].

4 IrriMaker consists of numerous functions [Electronic resource], available: <http://www.irrimaker.com/irrigation-software-functions> [accessed 2019].

5 IrriExpress: Powerful, Simple, Intuitive Irrigation Designer [Electronic resource], available: <https://www.irriexpress.com> [accessed 2019].

6 Palau C.V., Arviza J., Balbastre I., Manzano J., 2019. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies. *Scientia Agricola*, vol. 77, no. 3, 8 p., DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184.

7 Carrion F., Montero J., Tarjuelo J.M., Moreno M.A., 2014. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain. *Water Resources Management*, no. 14, vol. 28, pp. 5073-5089, <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>.

8 Garcia-Serrana M., Gulliver J.S., Nieber J.L., 2018. Calculator to Estimate Annual Infiltration Performance of Roadside Swales. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 23, 04018017, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001650.

9 Shtan'ko A.S., 2013. *Sovremennoe sostoyanie normativnogo obespecheniya vybora poperechnogo secheniya i geometricheskikh parametrov osushitel'nykh kanalov pri ikh proektirovanii* [The current state of regulatory support for the choice of cross-section and geometric parameters of drainage canals during their design]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya: sbornik statey FGBNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, Helikon Publ., iss. 51, pp. 128-133. (In Russian).

10 Shtan'ko A.S., 2014. *Normativno-metodicheskoe obespechenie podbora parametrov poperechnogo secheniya osushitel'nykh kanalov pri ikh proektirovanii* [Regulatory and methodological support for the selection of cross-sectional parameters of drainage canals during their design]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya: sbornik statey FGBNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., iss. 54, pp. 80-83. (In Russian).

11 Nesterov M.V., 2006. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya: ucheb. posobie* [Waterworks: Textbook]. Minsk, New Knowledge Publ., 616 p. (In Russian).

12 Vasil'ev S.M., Kozhanov A.L., 2019. [Modeling of the design process of the elements of the drainage part of the drainage system of the double regulation of the water regime]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 1(01), pp. 113-128, available: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf. (In Russian).

13 Maslov B.S. [et al.], 2001. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Osushenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Drainage: reference book]. Moscow, Ecost Association Publ., 606 p. (In Russian).

14 Kizyaev B.M. [et al.], 2002. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Sooruzheniya. Stroitel'stvo: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Facilities. Construction: reference book]. Moscow, Ecost Association Publ., 601 p. (In Russian).

15 Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I., 2010. *Vvedenie v matematicheskuyu statistiku* [Introduction to Mathematical Statistics]. Moscow, LCI Publ., 599 p. (In Russian).

Кожанов Антон Леонидович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: AntonKozhanov1983@yandex.ru

Kozhanov Anton Leonidovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: AntonKozhanov1983@yandex.ru

Воеводин Олег Владимирович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodin Oleg Vladimirovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Воеводина Лидия Анатольевна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodina Lidiya Anatolyevna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru