

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

В. А. Наумов

**ПРАКТИКУМ
ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
В ВОДОСНАБЖЕНИИ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ
для студентов вузов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
«Природообустройство и водопользование»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2019

РЕЦЕНЗЕНТ

докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
Н. Л. Великанов

Наумов, В. А.

Практикум по информационным технологиям в водоснабжении. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов вузов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование» / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2019. – 64 с.

Лабораторные занятия по дисциплине «Практикум по информационным технологиям в водоснабжении» предусматривают выполнение практических заданий на персональных компьютерах с использованием универсальных пакетов прикладных программ. Лабораторный практикум даёт студентам опыт исследовательской и проектной работы с применением информационных технологий. В конце каждой лабораторной работы приводятся вопросы для подготовки студентов к их защите.

Знания и навыки, полученные в ходе изучения данной учебной дисциплины, применяются при подготовке выпускной квалификационной работы и в профессиональной деятельности магистров. В результате освоения дисциплины у обучающегося формируются компетенции, предусмотренные ФГОС ВО.

Рис. 55, табл. 10, список лит. – 14 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой водных ресурсов и водопользования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 14 ноября 2018 г., протокол № 2

Учебно-методическое пособие рекомендовано к изданию методической комиссией строительного факультета ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 23 ноября 2018 г., протокол № 2

УДК 004.9:628

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Калининградский
государственный технический
университет», 2019 г.
© Наумов В. А., 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. «Построение в среде Mathcad рабочей характеристики простого трубопровода из полиэтилена»	5
Лабораторная работа № 2. «Построение в среде Mathcad рабочей характеристики трубопровода с ветвлением из полиэтилена»	10
Лабораторная работа № 3. «Применение современных информационных технологий для оцифровки графиков характеристик насосов»	14
Лабораторная работа № 4. «Программа расчета рабочей точки насосной установки»	18
Лабораторная работа № 5. «Применение современных информационных технологий для распознавания изображений (текстов и таблиц)»	22
Лабораторная работа № 6. «Расчет коэффициента шероховатости русла реки по измеренным расходам, глубинам и уклонам водной поверхности»	26
Лабораторная работа № 7. «Онлайн-калькулятор Гидрометеослужбы для расчета средних значений климатических характеристик»	31
Лабораторная работа № 8. «Специализированные массивы данных для климатических исследований»	36
Лабораторная работа № 9. «Онлайн-метод приближенной оценки рельефа местности»	43
Лабораторная работа № 10. «Построение поверхности в среде AutoCAD Civil 3D по данным съемки»	47
Лабораторная работа № 11. «Определение объемов и площади поверхностей в среде AutoCAD Civil 3D»	51
Лабораторная работа № 12. «Разработка чертежа элементов системы водоснабжения в среде AutoCAD»	55
Список использованных источников	59
Приложение А. Шероховатость труб из пластмасс	61
Приложение Б. Средние значения параметров \bar{y} и σ_y при различном числе членов ряда n (по Гумбелю)	61
Приложение В. Результаты измерений характеристик р. Мамоновки	62
Приложение Г. Коэффициент разрыхления грунтов	63

ВВЕДЕНИЕ

Информационная технология – это совокупность средств и методов их применения для целенаправленного изменения свойств информации, определяемого содержанием решаемой задачи или проблемы.

Цель информационной технологии – производство информации для ее анализа человеком и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия. Информационные технологии предназначены для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов. Результат применения информационных технологий обособляется в так называемых информационных продуктах. Информационными продуктами являются программные продукты, базы и банки данных и другая информация.

Говоря о современных ИТ, подразумевают компьютерные информационные технологии (КИТ) – совокупность методов, производственных и программно-технологических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации.

В настоящее время разработано большое количество программных продуктов, как универсальных, так и специализированных, для работы с различными формами информации. Профессиональная деятельность в области использования водных ресурсов требует знаний, умений и навыков работы с текстовыми и графическими документами, математической обработки числовых массивов, поиска и отбора информации в сети Интернет.

Лабораторные занятия по дисциплине «Практикум по информационным технологиям в водоснабжении» предусматривают выполнение практических заданий на персональных компьютерах с использованием универсальных пакетов прикладных программ. Лабораторный практикум даёт студентам опыт исследовательской и проектной работы с применением информационных технологий. В конце каждой лабораторной работы приводятся вопросы для подготовки студентов к их защите.

При изучении дисциплины «Практикум по информационным технологиям в водоснабжении» используются знания и навыки, полученные в бакалавриате при изучении дисциплин «Информатика», «Информационные технологии», «Математическое моделирование», в магистратуре – «Информационные технологии профессиональной деятельности». Знания и навыки, полученные при изучении данной учебной дисциплины, применяются при подготовке выпускной квалификационной работы и в профессиональной деятельности магистров. В результате освоения дисциплины у обучающегося формируются компетенции, предусмотренные ФГОС ВО.

Лабораторная работа № 1
**«Построение в среде Mathcad рабочей характеристики
 простого трубопровода из полиэтилена»**

Элементы теории

Трубы из полимерных материалов все шире используются в системах водоснабжения. Пусть вода при температуре $t^{\circ}\text{C}$ подается в емкость (рис. 1.1а) или вытекает в атмосферу через сопло С (рис. 1.1б) диаметром d_C . Диаметры труб из полиэтилена d (меньший) и D (большой). Абсолютная шероховатость труб Δ зависит от внутреннего диаметра (приложение А). Заданы коэффициенты гидравлических потерь вентиля – ζ_B , сопла – ζ_C (для рис. 1.1б); длины труб L_1, L_2, L_3 . Площадь поперечного сечения труб много меньше площади емкости, поэтому течение воды в трубопроводе можно считать стационарным.

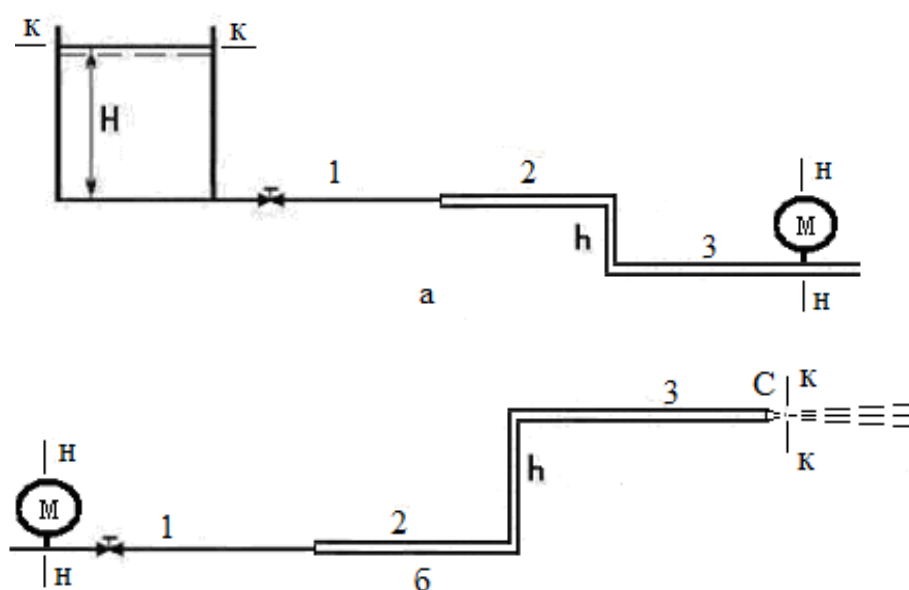


Рис. 1.1. Схема течения в простом трубопроводе

Запишем уравнение Бернулли для сечений н-н и к-к, показанных на рис. 1.1а:

$$z_H + \frac{p_H}{\rho g} + \alpha_H \frac{v_H^2}{2g} = z_K + \frac{p_K}{\rho g} + \alpha_K \frac{v_K^2}{2g} + \sum h_\ell + \sum h_M, \quad (1.1)$$

где z_H, z_K – геометрический напор в начальном и конечном сечениях;

$\frac{p_H}{\rho g}, \frac{p_K}{\rho g}$ – пьезометрический напор в начальном и конечном сечениях;

$\alpha_H \frac{v_H^2}{2g}, \alpha_K \frac{v_K^2}{2g}$ – скоростной напор в начальном и конечном сечениях.

Геометрический напор представляет собой вертикальную координату центра тяжести соответствующего сечения. В качестве оси сравнения выбираем ось нижней трубы. Тогда $z_H = 0, z_K = H + h; p_H = p_M + p_{\text{атм}}; p_K = p_{\text{атм}}$, где p_M – показание манометра.

Так как площадь сечения бака много больше площади поперечного сечения трубы, скорость движения свободной поверхности жидкости в баке много меньше скорости жидкости в трубе. Поэтому можно считать $V_K = 0$; $V_H = V_3$.

Гипотеза 1 – о режиме течения жидкости. В условии не задана скорость жидкости или расход, поэтому невозможно сразу вычислить число Рейнольдса и определить режим течения жидкости в трубопроводе. Вода относится к мало вязким жидкостям, можно предположить, что режим течения жидкости в трубопроводе турбулентный. При турбулентном течении коэффициенты Кориолиса принимаются равными единице.

Сумма гидравлических потерь в местных сопротивлениях

$$\sum h_M = \sum \xi_j \frac{V_j^2}{2g}. \quad (1.2)$$

Сумма гидравлических потерь на трение по длине трубопровода

$$\sum h_\ell = \sum_j \lambda_j \cdot \frac{L_j}{d_j} \cdot \frac{V_j^2}{2g}. \quad (1.3)$$

Коэффициент гидравлических потерь на трение по длине трубопровода в переходной области сопротивления зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости. В нормативном документе [3] для течений в пластмассовых трубах приведена формула, которую после упрощения можно записать так:

$$\sqrt{\lambda} = \frac{025 \cdot b}{\lg(3,7d/\Delta)} + \frac{0,656 \cdot (2-b)}{\lg Re - 1}, \quad b = 1 + \frac{\lg Re}{\lg Re_{кр}}, \quad Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad Re_{кр} = \frac{500 \cdot d}{\Delta}, \quad (1.4)$$

где b – число подобия режимов течения воды (при $b > 2$ следует принимать $b = 2$); $Re_{кр}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлического сопротивления в трубе.

Подставим (1.2) – (1.3) в уравнение Бернулли (1.1):

$$\frac{P_M}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = (H + h) + \frac{V_1^2}{2g} \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d} + \zeta_B + \zeta_{BC} + \zeta_{B_{вых}} \right) + \frac{V_2^2}{2g} \left(\lambda_2 \frac{L_2 + L_3 + h}{D} + 2\zeta_{II} \right), \quad (1.5)$$

где коэффициенты потерь в местных гидравлических сопротивлениях: ζ_B – на вентиле, ζ_B – при внезапном сужении, $\zeta_{B_{вых}}$ – выходе из трубопровода в бак, ζ_{II} – повороте.

Используем обозначения:

$$H_M = \frac{P_M}{\rho g}, \quad H_{CT} = (H + h), \quad Q = V_1 S_1 = V_2 S_2, \quad (1.6)$$

где H_M – необходимый напор; H_{CT} – статический напор; Q – расход воды в трубопроводе; S_1, S_2 – площади сечения труб.

Преобразуем уравнение (1.5) с учетом (1.6):

$$H_M = H_{CT} + \frac{Q^2}{2gS_1^2} \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d} + \zeta_B + \zeta_{BC} + \zeta_{B_{вых}} \right) + \frac{Q^2}{2gS_2^2} \left(\lambda_2 \frac{L_2 + L_3 + h}{D} + 2\zeta_{II} \right). \quad (1.7)$$

По (1.7) видно, что необходимый напор увеличивается с ростом расхода, но зависимость в общем случае не параболическая, а более сложная, так как коэффициенты λ_1 , λ_2 также зависят от расхода.

Зависимость коэффициента кинематической вязкости воды от температуры $t^\circ\text{C}$ (при 0°C $\nu_0 = 1,787 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$):

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + 0,0345 \cdot t + 0,000232 \cdot t^2} \quad (1.8)$$

Задание

1. В среде Mathcad рассчитать коэффициент кинематической вязкости воды по заданной температуре.
2. По справочным данным найти аналитическую зависимость абсолютной шероховатости полиэтиленовых труб от их внутреннего диаметра.
3. Получить зависимость коэффициент гидравлических потерь по длине полимерных труб.
4. Построить рабочую характеристику простого трубопровода – зависимость необходимого напора от расхода.
5. Определить область гидравлического сопротивления.

Таблица 1.1 – Исходные данные по вариантам

Величина	Номер варианта											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t, °C	28	17	8	21	14	6	25	13	9	32	23	11
H, м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
h, м	15	16	17	18	19	20	19	18	17	16	15	14
L1, м	25	28	26	24	22	30	23	26	29	32	40	48
L2, м	40	48	46	44	42	50	53	56	59	52	55	60
L3, м	55	58	54	63	70	80	73	76	77	80	84	94
d1, см	8,0	8,5	7,0	7,5	8,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5
d2, см	30	35	40	45	50	25	20	30	50	45	40	35
ξ_B	4,1	3,8	3,0	3,3	4,2	3,7	4,0	2,9	3,2	4,8	3,0	4,6
p, ат	4,8	4,7	4,0	4,3	5,2	4,7	5,0	4,9	4,2	5,1	5,0	4,6
Схема на рис. 1.1	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
ξ_C	–	0,04	–	0,06	–	0,03	–	0,05	–	0,06	–	0,07
d_C , см	–	10	–	9	–	11	–	8	–	12	–	7

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

ORIGIN := 1

$d1 := 0.07$ $d2 := 0.25$ $pM := 4.5 \times 0.98 \cdot 10^5$ $t1 := 10$ $\nu0 := 1.787 \cdot 10^{-6}$

$H := 2$ $h := 14$ $L1 := 20$ $L2 := 30$ $L3 := 50$ $\rho := 1000$ $g := 9.8$

Коэффициент кинематической вязкости воды

$$v_t(t) := \frac{v_0}{1 + 0.0345 \cdot t + 0.000232 \cdot t^2} \quad v := v_t(t_1) = 1.306 \cdot 10^{-6}$$

Абсолютная шероховатость полимерных труб (приложение А)

$$dd := \begin{pmatrix} 50 & 0.005 \\ 100 & 0.01 \\ 200 & 0.015 \\ 300 & 0.025 \\ 600 & 0.035 \\ 1200 & 0.05 \end{pmatrix} \quad S1 := 0.25 \cdot \pi \cdot d1^2 \quad S2 := 0.25 \cdot \pi \cdot d2^2$$

$$de := \frac{dd^{(1)}}{1000} \quad \Delta e := dd^{(2)}$$

$$ad := \text{regress}(de, \Delta e, 2)$$

$$\Delta t(d) := \text{interp}(ad, de, \Delta e, d)$$

Экспериментальные данные и результаты расчета показаны на рис. 1.2.

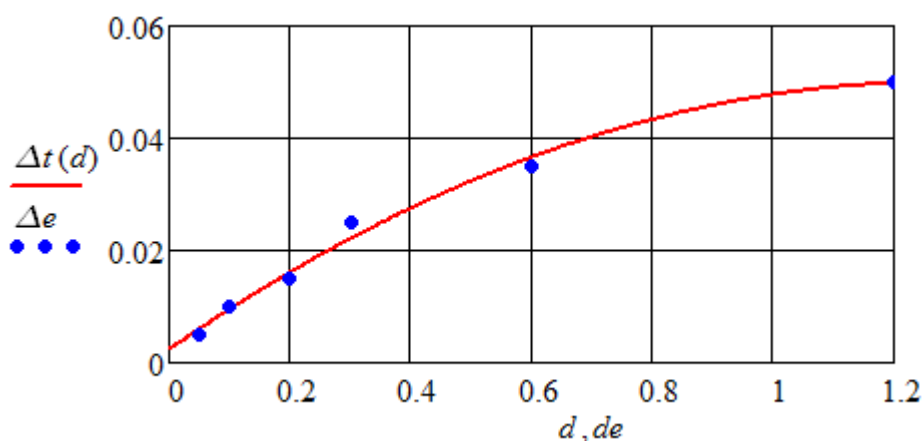


Рис. 1.2. Зависимость абсолютной шероховатости полимерных труб (мм) от их внутреннего диаметра (м)

$$\Delta l := \Delta t(d1) \quad \Delta l = 7.4122 \times 10^{-3} \quad \Delta 2 := \Delta t(d2) \quad \Delta 2 = 0.0192$$

$$\delta 1 := \frac{\Delta l \cdot 0.001}{d1} \quad \delta 1 = 1.059 \times 10^{-4} \quad \delta 2 := \frac{\Delta 2 \cdot 0.001}{d2} \quad \delta 2 = 7.664 \times 10^{-5}$$

Коэффициент гидравлических потерь по длине полимерных труб

$$Rek(\delta) := \frac{500}{\delta} \quad Red(V, d) := \frac{V \cdot d}{\nu}$$

$$b1(V, d, \delta) := 1 + \frac{\log(Red(V, d))}{\log(Rek(\delta))} \quad b(V, d, \delta) := \begin{cases} 2 & \text{if } b1(V, d, \delta) > 2 \\ b1(V, d, \delta) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(V, d, \delta) := \left[\frac{\frac{b(V, d, \delta)}{2} + \frac{1.312 \cdot (2 - b(V, d, \delta)) \cdot \log\left(\frac{3.7}{\delta}\right)}{\log(\text{Red}(V, d)) - 1}}{2 \cdot \log\left(\frac{3.7}{\delta}\right)} \right]^2$$

Рабочая характеристика простого трубопровода (рис. 1.3)

$$\zeta_B := 3.5 \quad \zeta_{BC} := \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{SI}{S2} \right) = 0.461 \quad \zeta_{II} := 1.1 \cdot 2 \quad \zeta_{Bbl} := 0.5$$

$$\zeta_3 := \zeta_{Bbl} + \zeta_B + \zeta_{BC} \quad L := L2 + L3 + h \quad HCT := H + h$$

$$H_M = HCT + \frac{Q^2}{2gS_1^2} \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d} + \zeta_B + \zeta_{BC} + \zeta_{Bbl} \right) + \frac{Q^2}{2gS_2^2} \left(\lambda_2 \frac{L_2 + L_3 + h}{D} + 2\zeta_{II} \right)$$

$$HM(Q) := HCT + \frac{Q^2}{2g} \cdot \left(\frac{\lambda\left(\frac{Q}{S1}, d1, \delta1\right) \cdot \frac{L1}{d1} + \zeta_3}{S1^2} + \frac{\lambda\left(\frac{Q}{S2}, d2, \delta2\right) \cdot \frac{L}{d2} + \zeta_{II}}{S2^2} \right)$$

$$Q_0 := 0.01 \quad Q_x := \text{root}\left(HM(Q_0) - \frac{pM}{\rho \cdot g}, Q_0\right) \quad Q_x = 0.021$$

$$H_p := HM(Q_x) \quad H_p = 45 \quad Q := 0.0001, 0.0005 \dots 0.03$$

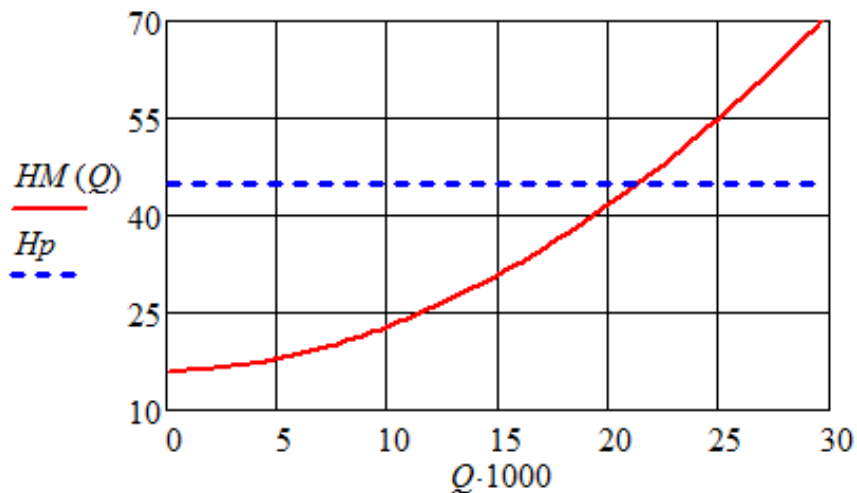


Рис. 1.3. Зависимость необходимого напора (м) от расхода (л/с) – рабочая характеристика простого трубопровода

Область гидравлического сопротивления

Необходимо рассчитать числа Рейольдса по скоростям и абсолютной шероховатости труб:

$$V1 := \frac{Qx}{S1} = 5.552 \qquad Re\Delta1 := \frac{V1 \cdot \Delta1 \cdot 0.01}{\nu} = 315.088$$

$$V2 := \frac{Qx}{S2} = 0.435 \qquad Re\Delta2 := \frac{V2 \cdot \Delta2 \cdot 0.01}{\nu} = 63.854$$

Так как $10 < Re_{\Delta} < 500$, область гидравлического сопротивления – переходная.

Контрольные вопросы

1. Уравнение Бернулли для реальной (вязкой) жидкости.
2. Как определить область гидравлического сопротивления в трубе?
3. Как зависит коэффициент кинематической вязкости воды от температуры?
4. Записать формулы расчета чисел Рейнольдса.
5. Структура оператора root для решения произвольного уравнения с одним неизвестным.
6. Как зависит абсолютная шероховатость полимерных труб от их диаметра?

Лабораторная работа № 2

«Построение в среде Mathcad рабочей характеристики трубопровода с ветвлением из полиэтилена»

Элементы теории

Вода при температуре $t^{\circ}\text{C}$ подается в горизонтальный трубопровод с ветвлением (рис. 2.1). Диаметры d_i и длины L_i труб из полиэтилена заданы, причем $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = d_5$. Абсолютная шероховатость труб Δ зависит от внутреннего диаметра (приложение А). Вода свободно истекает в атмосферу, ее утечками в трубопроводе пренебречь. Предусмотреть на выходе свободный напор $H_C = 10$ м. Гидравлические потери в местных сопротивлениях учесть с помощью увеличения потерь по длине трубопровода на 10 %.

Предположим, что на участке 2 вода течет от узла В к С (рис. 2.1.а). На остальных участках движение слева направо. Тогда уравнения баланса расхода:

$$Q_0 = Q_1 + Q_3, \quad Q_1 = Q_2 + Q_4, \quad Q_5 = Q_2 + Q_3. \quad (2.1)$$

С учетом равенства диаметров труб уравнения (2.1) выразим через средние скорости на участках:

$$V_0 = (V_1 + V_3) \cdot (d_1 / d_0)^2, \quad V_1 = V_2 + V_4, \quad V_5 = V_2 + V_3. \quad (2.2)$$

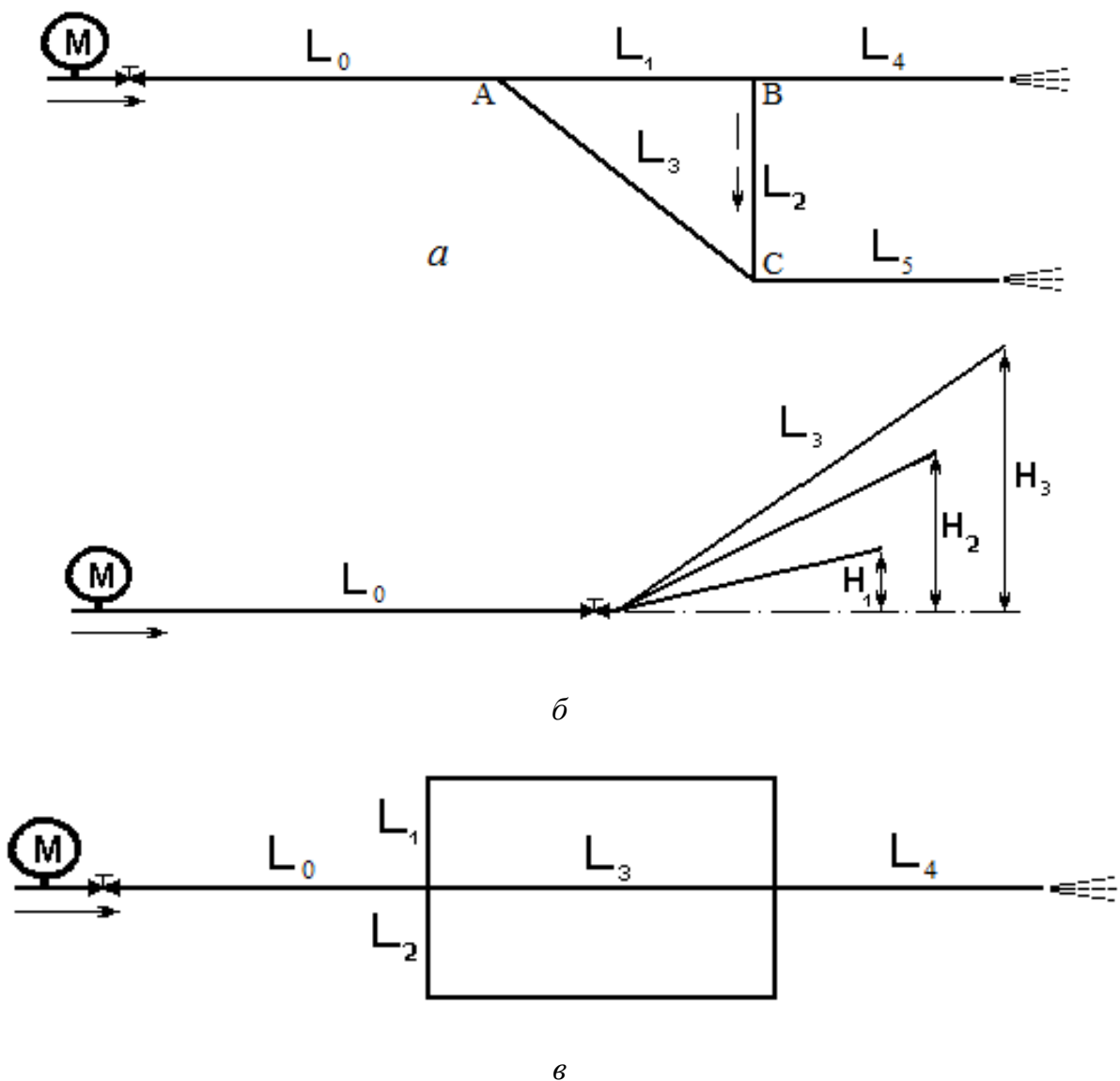


Рис. 2.1. Гидравлические схемы трубопроводов с ветвлением

Замечаем, что течение в ветвях AC и ABC – параллельное. Гидравлические сопротивления в них должны быть одинаковыми:

$$\lambda_3 \frac{L_3}{d_3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} = \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}, \quad (2.3)$$

где коэффициенты гидравлических потерь на трение в полиэтиленовых трубах определяются по формуле (1.4), умноженной на 1,1 для учета местных потерь.

Составим дважды уравнение Бернулли от исходного сечения трубопровода (манометра) до выхода их трубы 4 и трубы 5:

$$\frac{p_M}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} = \lambda_0 \frac{L_0}{d_0} \cdot \frac{V_0^2}{2g} + \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \lambda_4 \frac{L_4}{d_4} \cdot \frac{V_4^2}{2g} + \frac{V_4^2}{2g} + H_C, \quad (2.4)$$

$$\frac{p_M}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} = \lambda_0 \frac{L_0}{d_0} \cdot \frac{V_0^2}{2g} + \lambda_3 \frac{L_3}{d_3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} + \lambda_5 \frac{L_5}{d_5} \cdot \frac{V_5^2}{2g} + \frac{V_5^2}{2g} + H_C. \quad (2.5)$$

Для построения рабочей характеристики трубопровода необходимо решить систему шести алгебраических уравнений (2.2) – (2.5) при нескольких (не менее пяти) значениях манометрического давления p_M .

Следует учесть, что при $p_M = \rho g H_c$ расход воды будет равен нулю.

Задание

1. Как в работе №1, рассчитать коэффициент кинематической вязкости воды по заданной температуре, найти аналитическую зависимость абсолютной шероховатости полиэтиленовых труб от их внутреннего диаметра, получить формулу коэффициента гидравлических потерь по длине полимерных труб.

2. Численным методом решить систему уравнений (2.2) – (2.5) при шести значениях манометрического давления, начиная с $p_M = 1,1$ ат.

3. Построить по рассчитанным точкам рабочую характеристику трубопровода с ветвлением – зависимость необходимого напора от расхода.

4. Сформировать массив $Q-H$ и сохранить его в txt-формате на одном из внешних носителей.

Таблица 2.1 – Исходные данные по вариантам

Величина	Номер варианта											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t^\circ\text{C}$	20	19	7	24	12	8	25	11	19	18	13	10
d_0 , см	17	12	14	16	17	18	20	14	16	18	19	15
d_1 , см	8,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	8,0	7,5	9,0	10	8,0
Рис. 2.1	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в
L_0 , м	850	880	860	840	920	930	820	900	810	780	870	800
L_1 , м	210	180	220	190	230	200	240	190	170	250	220	200
L_2 , м	100	110	120	130	105	115	125	135	95	90	100	120
L_3 , м	290	280	310	300	320	300	340	305	250	330	290	280
L_4 , м	200	–	210	190	–	180	220	–	185	215	–	200
L_5 , м	190	–	–	200	–	–	180	–	–	210	–	–
H_1 , м	–	10	–	–	15	–	–	11	–	–	12	–
H_2 , м	–	15	–	–	12	–	–	16	–	–	18	–
H_3 , м	–	18	–	–	19	–	–	16	–	–	14	–

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

Вводим исходные данные:

$$d_0 := 0.15 \quad d_1 := 0.08 \quad \rho := 1000 \quad g := 9.8 \quad t_1 := 10 \quad \nu_0 := 1.787 \cdot 10^{-6}$$

$$L_0 := 800 \quad L_1 := 200 \quad L_2 := 120 \quad L_3 := 280 \quad L_4 := 200 \quad L_5 := 200 \quad H_c := 10$$

Используем программу работы №1 до расчета коэффициента λ с учетом изменения индексов, в частности

$$\Delta 0 := \Delta t(d0) \quad \Delta 0 = 0.0129 \quad \Delta I := \Delta t(dI) \quad \Delta I = 8.1146 \times 10^{-3}$$

$$\delta 0 := \frac{\Delta 0 \cdot 0.001}{d0} \quad \delta 0 = 8.578 \times 10^{-5} \quad \delta I := \frac{\Delta I \cdot 0.001}{dI} \quad \delta I = 1.014 \times 10^{-4}$$

Добавляем коэффициент 1,1 в формулу λ :

$$\lambda(V, d, \delta) := 1.1 \cdot \left[\frac{\frac{b(V, d, \delta)}{2} + \frac{1.312 \cdot (2 - b(V, d, \delta)) \cdot \log\left(\frac{3.7}{\delta}\right)}{\log(\text{Red}(V, d)) - 1}}{2 \cdot \log\left(\frac{3.7}{\delta}\right)} \right]^2$$

Численным методом с помощью операторов *Given-Find* решаем систему уравнений при значении манометрического давления 1,1 ат и записываем найденное значение расхода воды в массив Q .

$$v0 := 1 \quad v1 := 1 \quad v2 := 1 \quad v3 := 1 \quad v4 := 1 \quad v5 := 1 \quad Q1 := 0 \quad H1 := Hc$$

$$pM := 1.1 \times 0.98 \cdot 10^5$$

Given

$$v1 \cdot d1^2 + v3 \cdot d1^2 = v0 \cdot d0^2 \quad v1 = v2 + v4 \quad v5 = v3 + v2$$

$$\lambda(v3, d1, \delta 1) \cdot L3 \cdot v3^2 = \lambda(v1, d1, \delta 1) \cdot L1 \cdot v1^2 + \lambda(v2, d1, \delta 1) \cdot L2 \cdot v2^2$$

$$\frac{pM}{\rho \cdot g} - Hc = \frac{v0^2}{2g} \cdot \left(\lambda(v0, d0, \delta 0) \cdot \frac{L0}{d0} - 1 \right) + \frac{v1^2}{2g} \cdot \lambda(v1, d1, \delta 1) \cdot \frac{L1}{d1} + \frac{v4^2}{2g} \cdot \left(1 + \lambda(v4, d1, \delta 1) \cdot \frac{L4}{d1} \right)$$

$$\frac{pM}{\rho \cdot g} - Hc = \frac{v0^2}{2g} \cdot \left(\lambda(v0, d0, \delta 0) \cdot \frac{L0}{d0} - 1 \right) + \frac{v3^2}{2g} \cdot \lambda(v3, d1, \delta 1) \cdot \frac{L3}{d1} + \frac{v5^2}{2g} \cdot \left(1 + \lambda(v5, d1, \delta 1) \cdot \frac{L5}{d1} \right)$$

$$V := \text{Find}(v0, v1, v2, v3, v4, v5) \quad V^T = (0.18 \quad 0.34 \quad 0.03 \quad 0.28 \quad 0.31 \quad 0.31)$$

$$H2 := \frac{pM}{\rho \cdot g} \quad Q2 := V1 \cdot S0$$

Дублируем программу 5 раз, увеличивая p_M до 4 ат и записывая очередные значения элементов массивов H и Q .

Строим зависимость необходимого напора от расхода воды в трубопроводе с ветвлением (рис. 2.2).

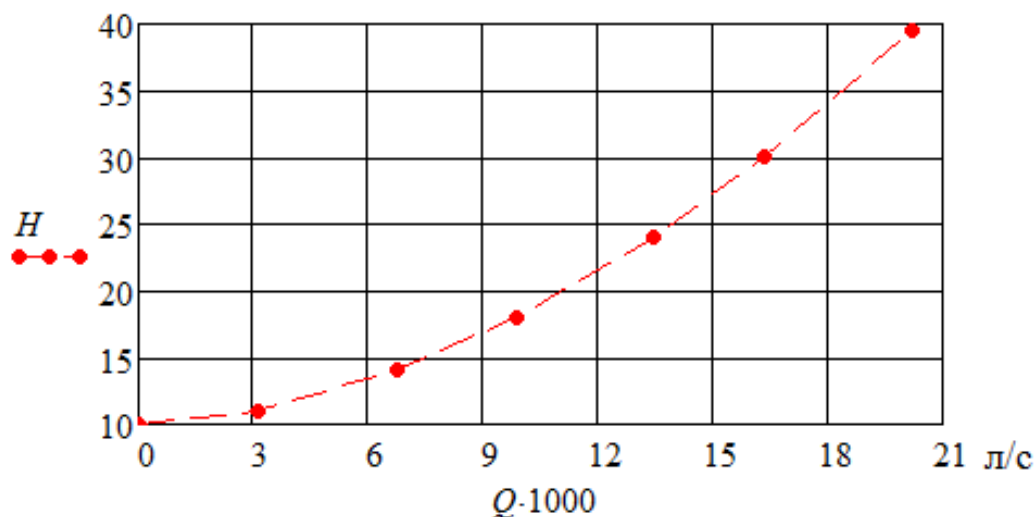


Рис. 2.2. Зависимость необходимого напора (м) от расхода (л/с) – рабочая характеристика трубопровода с ветвлением

Формируем массив $Q-H$ и сохраняем его в txt-формате:

$QH := \text{augment}(Q, H)$ $\text{WRITEPRN}("QH.txt") := QH$

Контрольные вопросы

1. Уравнение Бернулли для реальной (вязкой) жидкости.
2. Как решить систему алгебраических уравнений в среде Mathcad?
3. Как связаны расходы и гидравлические потери в параллельных ветвях трубопровода?
4. Что такое рабочая характеристика трубопровода с ветвлением?
5. Как учитываются гидравлические потери в местных сопротивлениях при гидравлическом расчете длинного водопровода?
6. Формула для расчета потерь напора по длине трубы.

Лабораторная работа № 3

«Применение современных информационных технологий для оцифровки графиков характеристик насосов»

Элементы теории

Повышение энергетической эффективности работы насосных установок в системах водоснабжения – одна из наиболее важных задач научных исследований в области водного хозяйства. Одним из элементов таких исследований является аппроксимация многочленами характеристик насосов – зависимостей напора $H = f(Q)$ и коэффициента полезного действия насоса $\eta = \varphi(Q)$ от подачи Q . Эта задача будет решена в работе №4.

Производители насосного оборудования предоставляют технический паспорт (или инструкцию по эксплуатации) с экспериментально полученными ха-

рактиками в графической форме. На рис. 3.1 – 3.2 представлены характеристики консольных насосов 1К. Условное обозначение насоса (например, 1К80-50-200-с У3.1) включает:

- 1К – консольный насос;
- 80 – диаметр входного патрубка, мм;
- 50 – диаметр выходного патрубка, мм;
- 200 – диаметр рабочего колеса (условный), мм;
- с – сальниковое уплотнение (т – торцовое уплотнение);
- У3.1 – климатическое исполнение и категория размещения.

При поставке насоса с одним из вариантов рабочих колес по внешнему диаметру, добавляется индекс (соответствующие диаметры рабочих колес показаны на рис. 3.1):

- «м», «л» – увеличенный диаметр рабочего колеса;
- «а», «б», «в» – уменьшенный диаметр рабочего колеса.

Для решения задач аппроксимации требуется табличная (цифровая) форма. Снятие точек с графика вручную является трудоемким занятием и обеспечивает приемлемую точность.

Современные информационные технологии позволяют выполнить оцифровку графиков в автоматическом или полуавтоматическом режиме с высокой точностью. В данной лабораторной работе для оцифровки графиков характеристик насосов в учебных целях будет использована автоматизированная система.

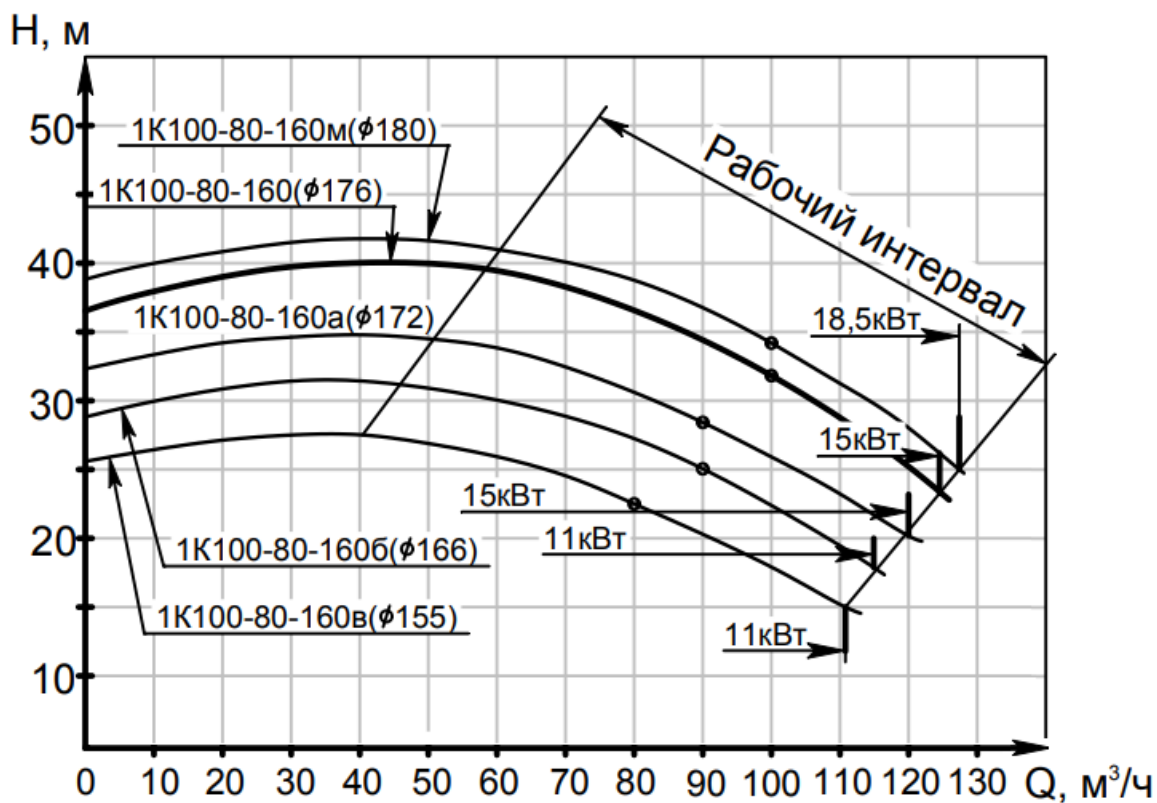


Рис. 3.1. Зависимость напора от подачи центробежных консольных насосов 1К100-80 (напорная характеристика)

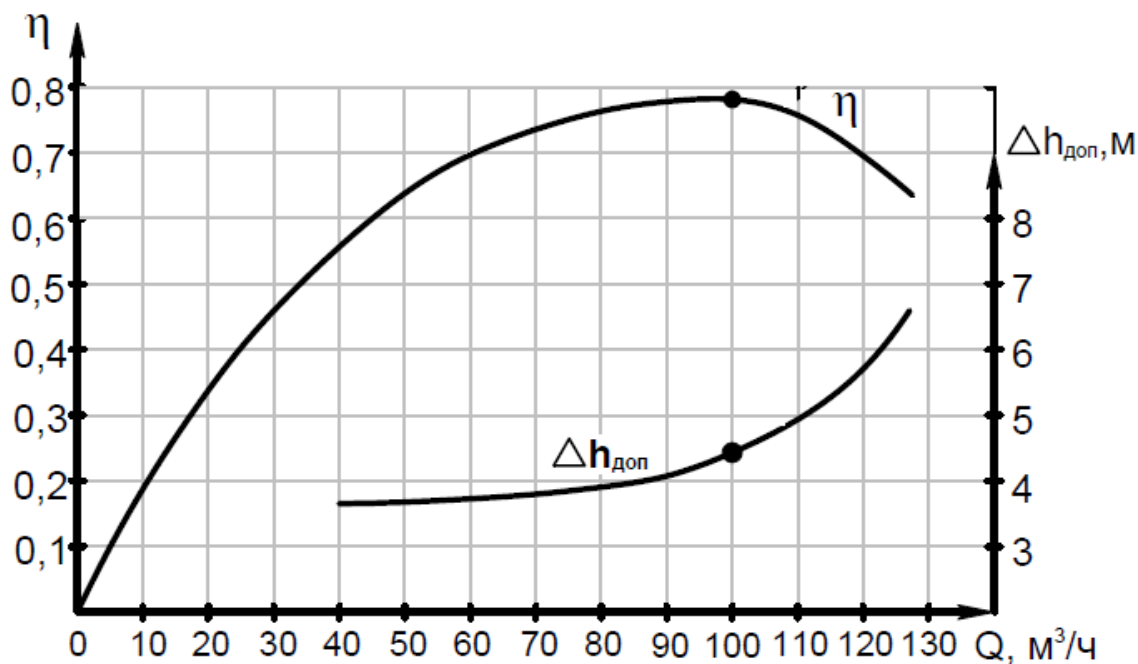


Рис. 3.2. КПД и допустимая высота всасывания центробежного насоса 1K100-80-160

Задание

1. Подобрать насос (предпочтительно отечественного производства) с номинальным напором и подачей не менее значений, полученных в лабораторной работе № 2. Заготовить (отсканировать) графики характеристик насоса $H = f(Q)$ и $\eta = \varphi(Q)$, как на рис. 3.1 – 3.2.

2. Поочередно загрузить в программу в Graph2Digit отсканированные графики и установить настройки.

3. С помощью оцифровки получить таблицы данных (не менее десяти точек) $Q-H$ и $Q-\eta$.

4. Сохранить таблицы характеристик в txt-формате: $Q-H.txt$ и $Q-\eta.txt$.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

Необходимо запустить программу в Graph2Digit и загрузить в нее график $H = f(Q)$. Установление настроек с помощью меню (рис. 3.3):

Команды → Привязка координат → По четырем точкам.

Далее отмечаем 4 точки: наименьшие и наибольшие точки абсциссы и ординаты, устанавливаем их значения (рис. 3.4).

Выбираем метод отбора точек – вручную F7 (рис. 3.5 в правом верхнем углу). Отмечаем не менее десяти точек на графике.

Запись в dat-файл: Файл → Сохранить данные. Осталось преобразовать в txt-файл и сохранить его на собственном внешнем носителе.

Аналогичным образом обрабатываем график $\eta = \varphi(Q)$.

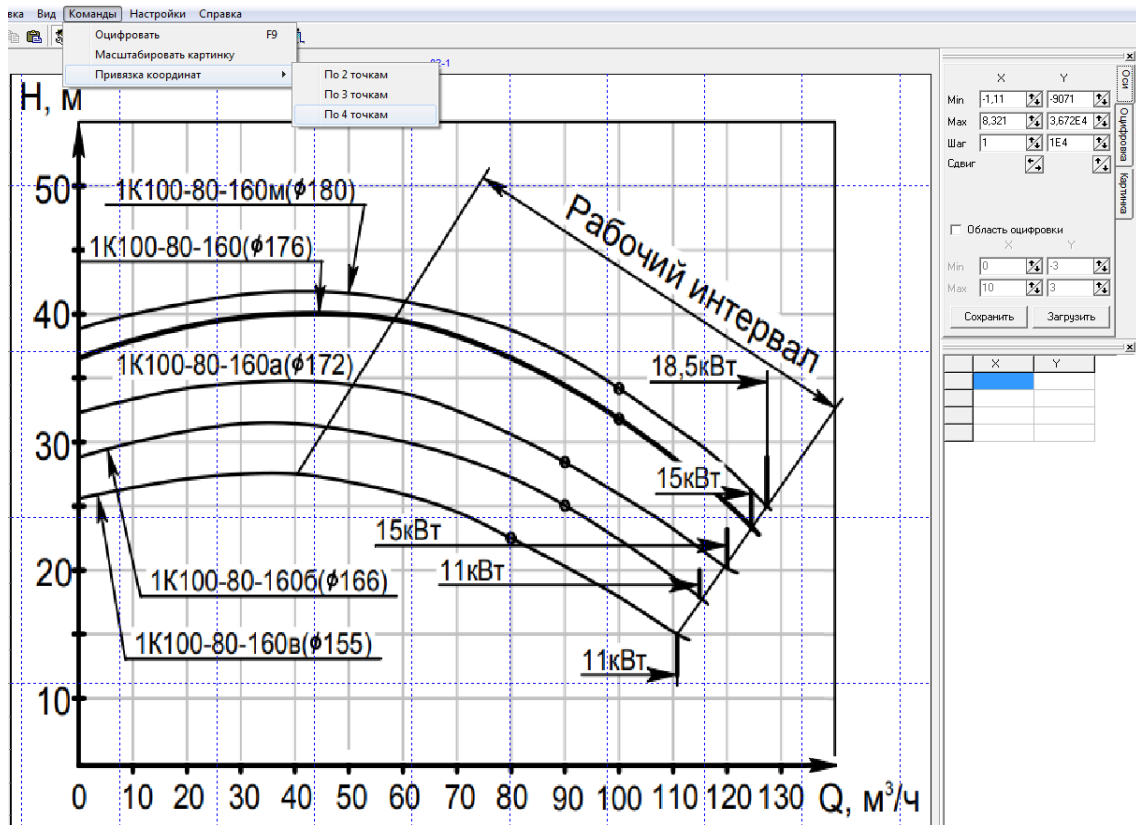


Рис. 3.3. Загрузка рисунка и привязка координат

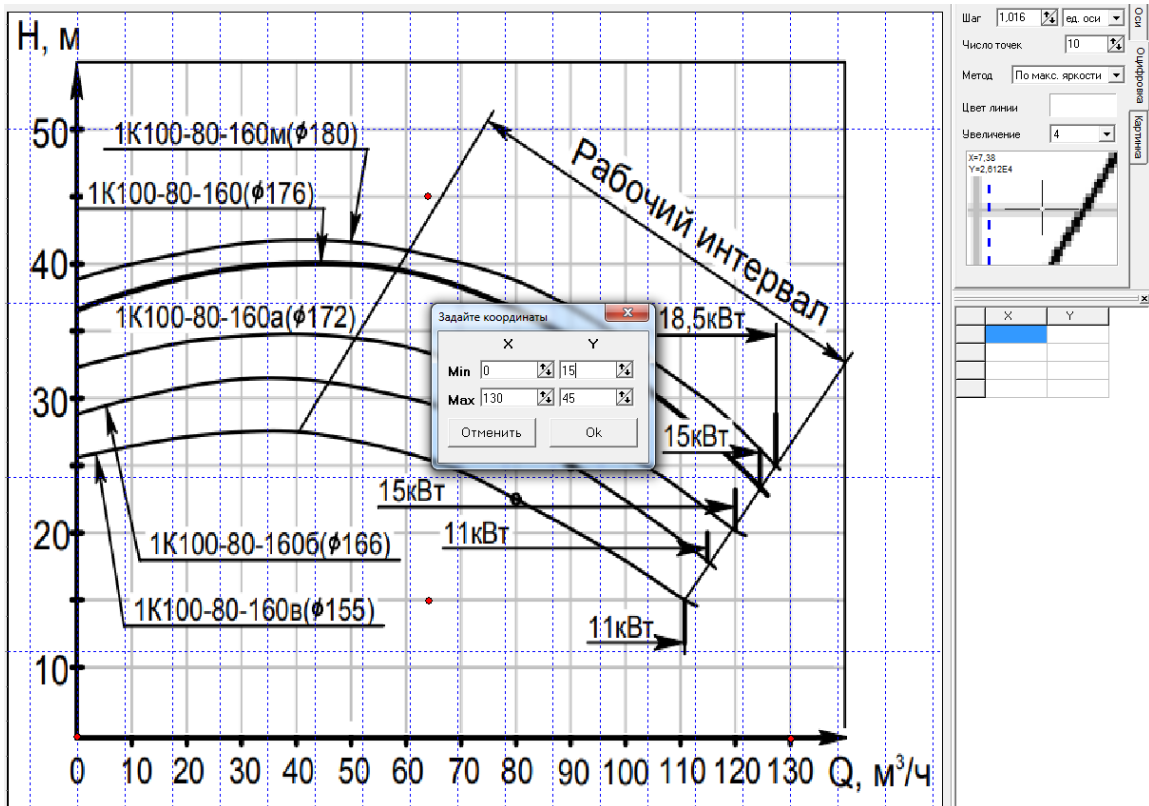


Рис. 3.4. Установление диапазона осей координат

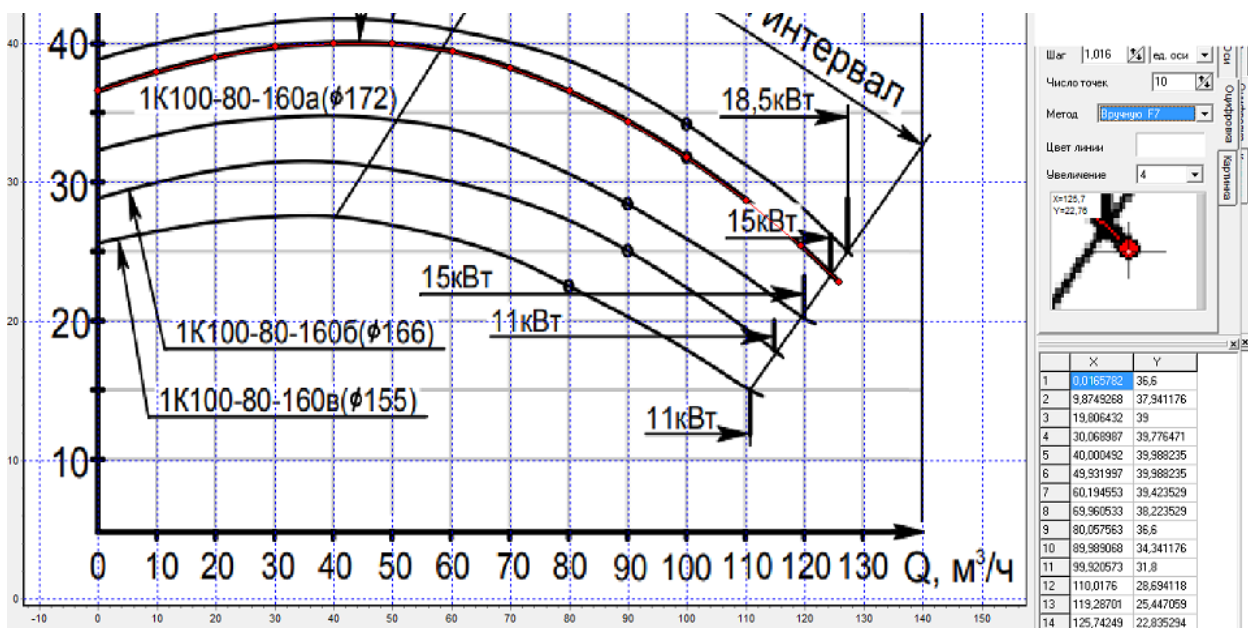


Рис. 3.5. Выбор точек в ручном режиме

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристики центробежного насоса?
2. Каким образом они получаютя?
3. Назовите источники графиков с характеристиками центробежных насосов.
4. Для чего нужно оцифровывать графики характеристики центробежных насосов?
5. Почему не оцифровывают графики вручную?
6. По каким точкам осуществляется привязка графиков в Graph2Digit?
7. В каком формате сохраняет результаты оцифровки Graph2Digit?

Лабораторная работа № 4 «Программа расчета рабочей точки насосной установки»

Элементы теории

Е.А. Прегер предложил методику подбора лопастных насосов на основании аналитической зависимости напора от подачи $H=f(Q)$, которая была получена в результате анализа большого количества характеристик:

$$H(Q) = f_2(Q) = a_0 + a_1Q + a_2Q^2. \quad (4.1)$$

Методика не получила широкого распространения, в том числе из-за большой трудоемкости ручного счета. Современные компьютерные технологии позволяют проводить массовые расчеты и для аппроксимации n-го порядка:

$$H(Q) = f_n(Q) = a_0 + a_1Q + a_2Q^2 + a_3Q^3 + \dots + a_nQ^n. \quad (4.2)$$

Относительную погрешность аппроксимации оценивают по формуле

$$\varepsilon_n = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{N - (n + 1)} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{H_i}{f_n(Q_i)}\right)^2}, \quad (4.3)$$

где N – объем выборки (количество экспериментальных точек).

Исходным материалом для указанной аппроксимации являются табличные данные характеристик насоса $H = f(Q)$ и $\eta = \varphi(Q)$, полученные в лабораторной работе № 3.

Кроме того, требуется аналитическое выражение рабочей характеристики трубопровода, которая будет найдена по результатам работы № 2:

$$H(Q) = \psi_m(Q) = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2 + a_3 Q^3 + \dots + b_m Q^m. \quad (4.4)$$

Расход в рабочей точке насосной установки находится с помощью решения численным методом уравнения

$$f_n(Q) = \psi_m(Q). \quad (4.5)$$

Задание

1. В среде Mathcad загрузить таблицы данных характеристик трубопровода $QH.txt$ и насоса $Q-H.txt$, $Q-K.txt$, полученных в лабораторных работах № 2, № 3.

2. Получить коэффициенты аппроксимации 2-го и 3-го порядка (4.2) трех указанных зависимостей.

3. Рассчитать погрешность аппроксимации. Построить графики.

4. Решить численным методом уравнение (4.5). Найти КПД в рабочей точке насосной установки.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

Считываем таблицу зависимости $Q-H$ трубопровода с ветвлением (из работы № 2) и переводим расход в $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$QH := \text{READPRN}("QH.txt") \quad Q := QH^{(1)} \quad H := QH^{(2)} \quad QK := Q \cdot 3600$$

Находим регрессионную зависимость необходимого напора трубопровода с ветвлением от расхода в форме показательной функции (рис. 4.1).

$$Q1 := \text{submatrix}(QK, 2, 7, 1, 1) \quad H1 := \text{submatrix}(H, 2, 7, 1, 1)$$

$$QL := \log(Q1) \quad HL := \log(H1 - Hc) \quad aL := \text{regress}(QL, HL, 1)$$

$$aL^T = (3 \quad 3 \quad 1 \quad -1.893 \quad 1.804) \quad A := 10^{aL4} \quad A = 0.01281 \quad \beta := aL5$$

$$Hp(q) := Hc + A \cdot q^\beta \quad q := 0..80$$

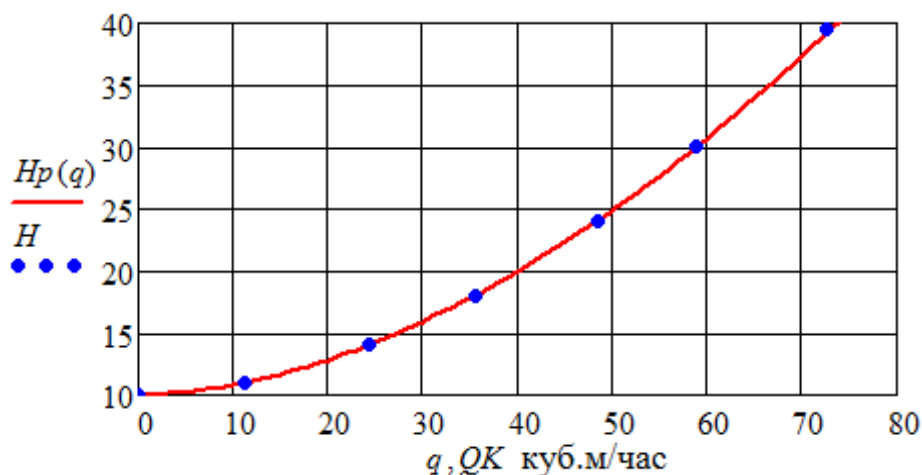


Рис. 4.1. Аппроксимация зависимости необходимого напора трубопровода с ветвлением от расхода

Считываем таблицы рабочих характеристик насоса (из работы № 3).

$$QHn := READPRN("Q-H.txt") \quad Qn := QHn^{(1)} \quad Hn := QHn^{(2)}$$

$$QHk := READPRN("Q-K.txt") \quad Qk := QHk^{(1)} \quad \eta e := QHk^{(2)}$$

Находим многочлены аппроксимации второго порядка:

$$aH := regress(Qn, Hn, 2) \quad Ht(q) := interp(aH, Qn, Hn, q)$$

$$ak := regress(Qk, \eta e, 2) \quad \eta(q) := interp(ak, Qk, \eta e, q)$$

Построенные по ним графики показаны на рис. 4.2 и 4.3.

Расчет подачи, напора и КПД насоса в рабочей точке численным методом:

$$Qo := 60 \quad Qx := root(Ht(Qo) - Hp(Qo), Qo) \quad Qx = 70.919$$

$$Ht(Qx) = 37.98 \quad \eta(Qx) = 75.27$$

Графическая иллюстрация показана на рис. 4.4. Но построение графиков не является обязательным при численном расчете рабочей точки насоса.

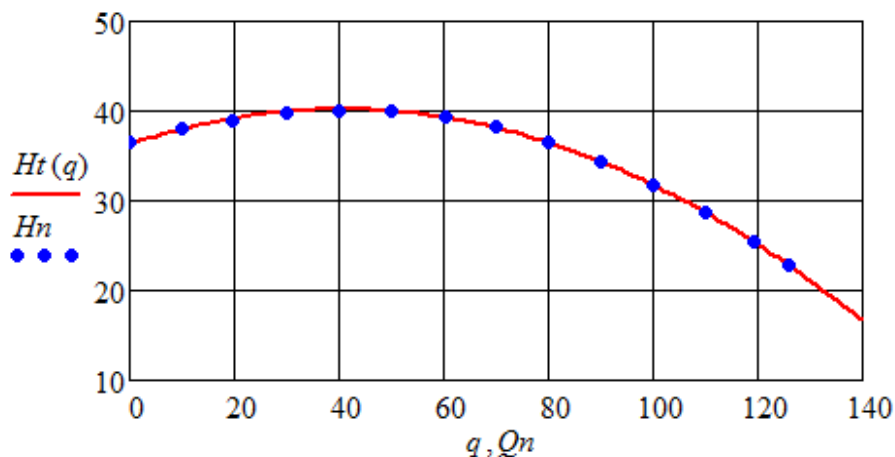


Рис. 4.2. Аппроксимация напорной характеристики насоса

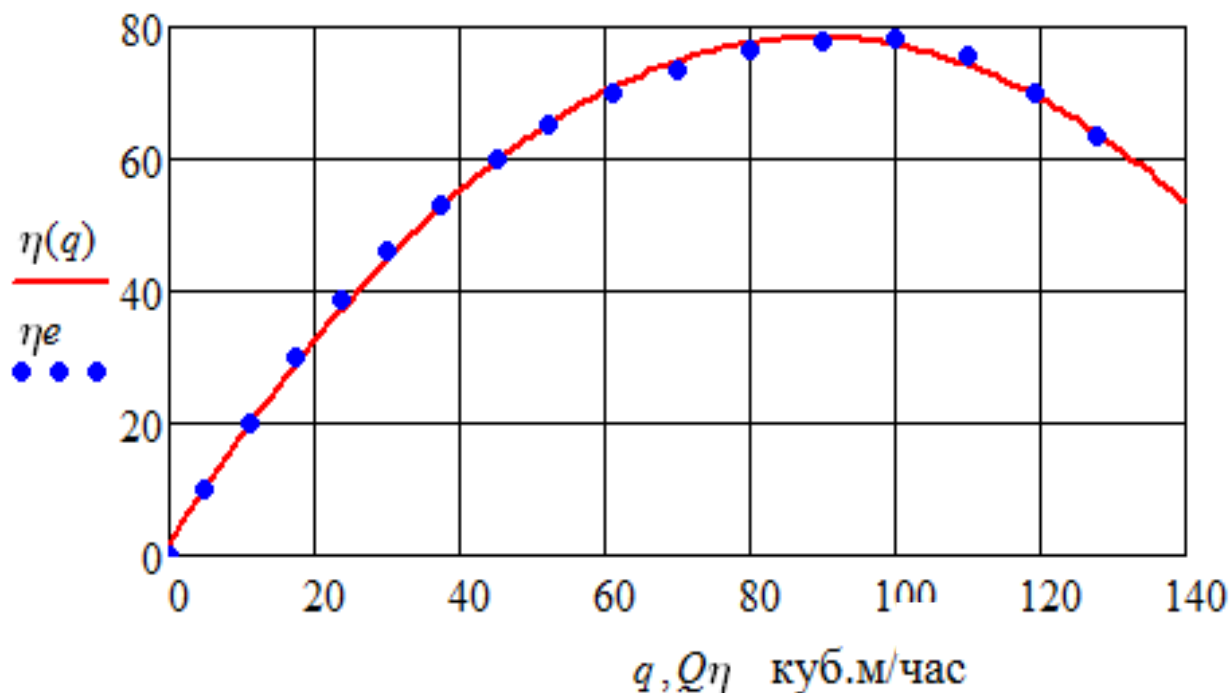


Рис. 4.3. Зависимость КПД насоса от подачи

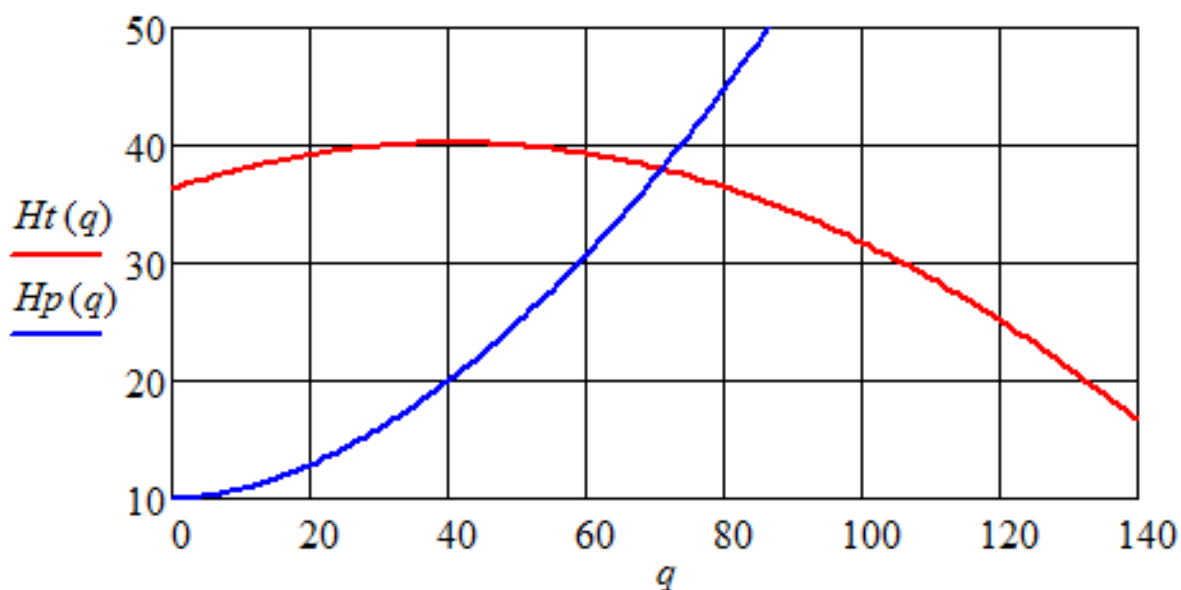


Рис. 4.4. Определение рабочей точки насоса графическим методом

Контрольные вопросы

1. Запишите формулу степенной аппроксимации.
2. Как рассчитать относительную погрешность аппроксимации?
3. Что такое рабочая точка насосной установки?
4. Как найти рабочую точку насосной установки?
5. Для чего ее находят?
6. Как зависит КПД насоса от подачи?

Лабораторная работа № 5
«Применение современных информационных технологий
для распознавания изображений (текстов и таблиц)»

Элементы теории

Гидрологические ежегодники до середины 70-х годов прошлого века содержали раздел «Измеренные расходы воды». Кроме значений расходов Q , в этот раздел включались результаты измерений уровня воды H , средней V и максимальной V_m скорости, ширины (по поверхности) B , средней h и максимальной h_m глубины, уклона водной поверхности I . Замеры выполнялись как во время половодья, так и в период межени. Количество измерений в течение года колебалось от 20 до 50. Главным назначением указанных данных было построение тарировочной кривой зависимости расхода в гидростворе от уровня воды $Q = f(H)$. Дело в том, что ежедневно (или даже чаще в половодье) выполняются измерения уровней воды в гидростворе. Расчет расхода воды по результатам измерения скоростей и глубин весьма трудоемкая процедура, особенно на больших реках. Поэтому таблица среднесуточных расходов воды, размещаемая в Гидрологических ежегодниках, рассчитывалась по эмпирическим зависимостям $Q = f(H)$, построенным для каждого гидроствора.

Таблицы раздела «Измеренные расходы воды» в Гидрологических ежегодниках представляют собой изображения. Чтобы их использовать в современных информационных технологиях водного хозяйства, необходимо выполнить распознавание указанных изображений, получить числовые таблицы. Распознавание текстовых и числовых изображений выполняется с помощью специализированных программ, в частности ABBYY FineReader.

Задание

1. По согласованию с преподавателем выбрать один из гидростворов рек региона. Отсканировать изображение таблицы указанного створа из раздела «Измеренные расходы воды» в Гидрологическом ежегоднике (пример см. в приложении В).

2. Часть изображения таблицы с числами (без дат измерения) загрузить в программу ABBYY FineReader. Выполнить распознавание изображения и проверить его правильность.

3. После распознавания передать таблицу в MS Word для форматирования и записи в txt-файл на внешнем носителе.

4. Информацию из txt-файл загрузить в Mathcad. Для проверки построить график $Q = f(H)$.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями
(1960, р. Мамоновка – створ г. Мамоново)

Исходный файл с изображением таблицы загружаем в любой графический редактор (можно Paint). Убираем текстовый заголовок таблицы, оставляем следующие столбцы: Q , H , V , V_m , B , h , h_m , I . Верхняя часть показана на рис. 5.1.

78	2,18	6,23	0,35	0,51	11,4	0,55	0,95	0,88
79	2,28	6,36	0,36	0,52	11,3	0,56	0,95	0,88
62	1,34	4,97	0,27	0,43	10,6	0,47	0,81	0,72
66	1,53	5,20	0,29	0,44	11,0	0,47	0,80	0,75
65	1,24	5,05	0,25	0,46	10,7	0,47	0,84	0,80
124	5,46	11,5	0,47	0,72	13,5	0,85	1,42	1,2
174	9,48	19,5	0,49	0,80	16,0	1,22	1,91	1,7
162	8,86	17,2	0,52	0,85	15,5	1,11	1,70	1,7
145	7,25	14,1	0,51	0,80	15,2	0,93	1,50	1,6
132	6,34	12,2	0,52	0,77	14,1	0,87	1,39	1,5
120	5,29	10,5	0,50	0,71	13,7	0,77	1,27	1,4
100	3,96	8,25	0,48	0,63	13,2	0,63	1,10	1,3
111	4,60	9,73	0,47	0,65	13,6	0,72	1,20	1,4

Рис. 5.1. Верхняя часть изображения таблицы

В программе ABBYY FineReader выбираем режим «Изображение или PDF-файл в MS Word» и черно-белый – правый верхний угол на рис. 5.2.

Распознавание числовой таблицы показано на рис. 5.3.

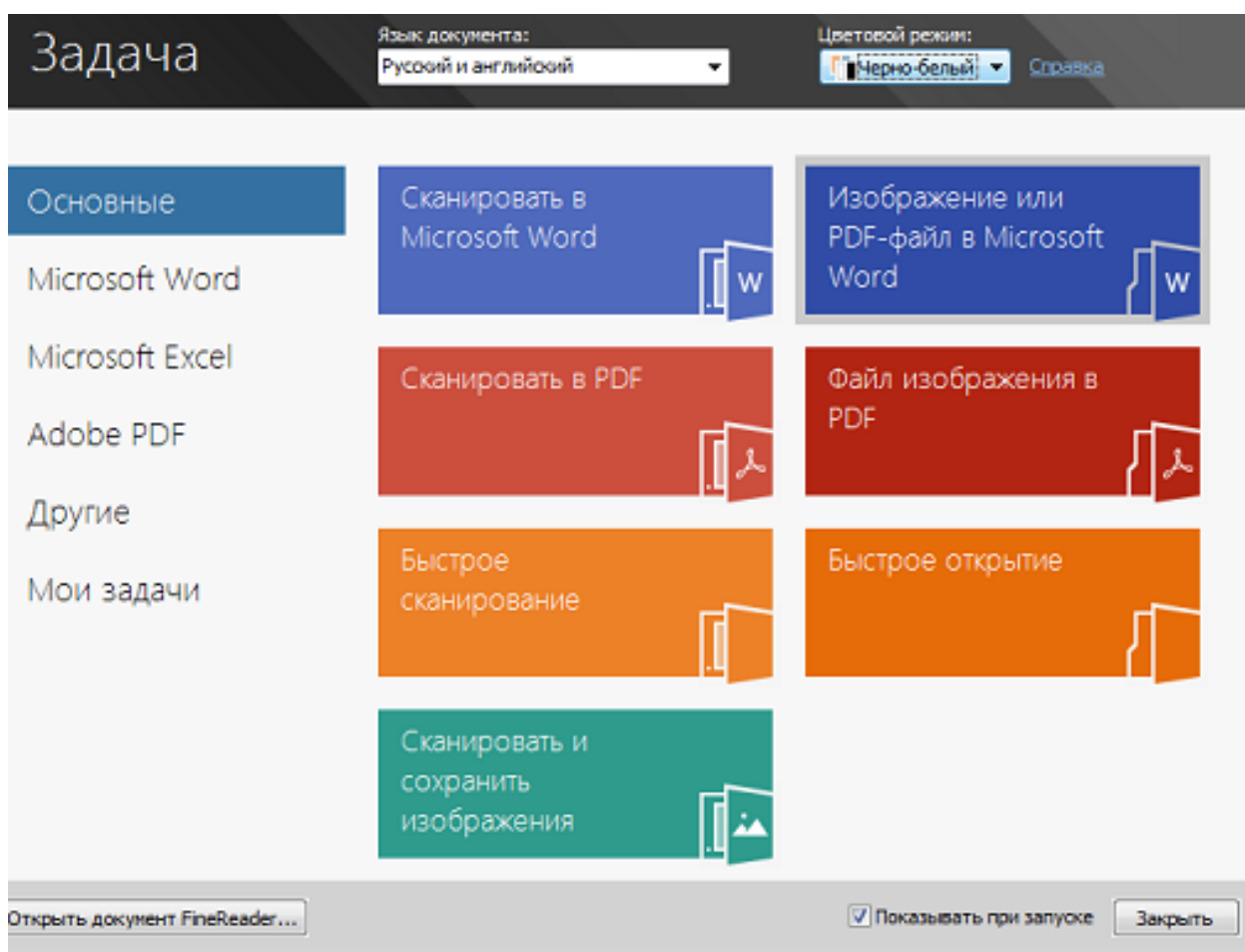


Рис. 5.2. Выбор режима работы ABBYY FineReader

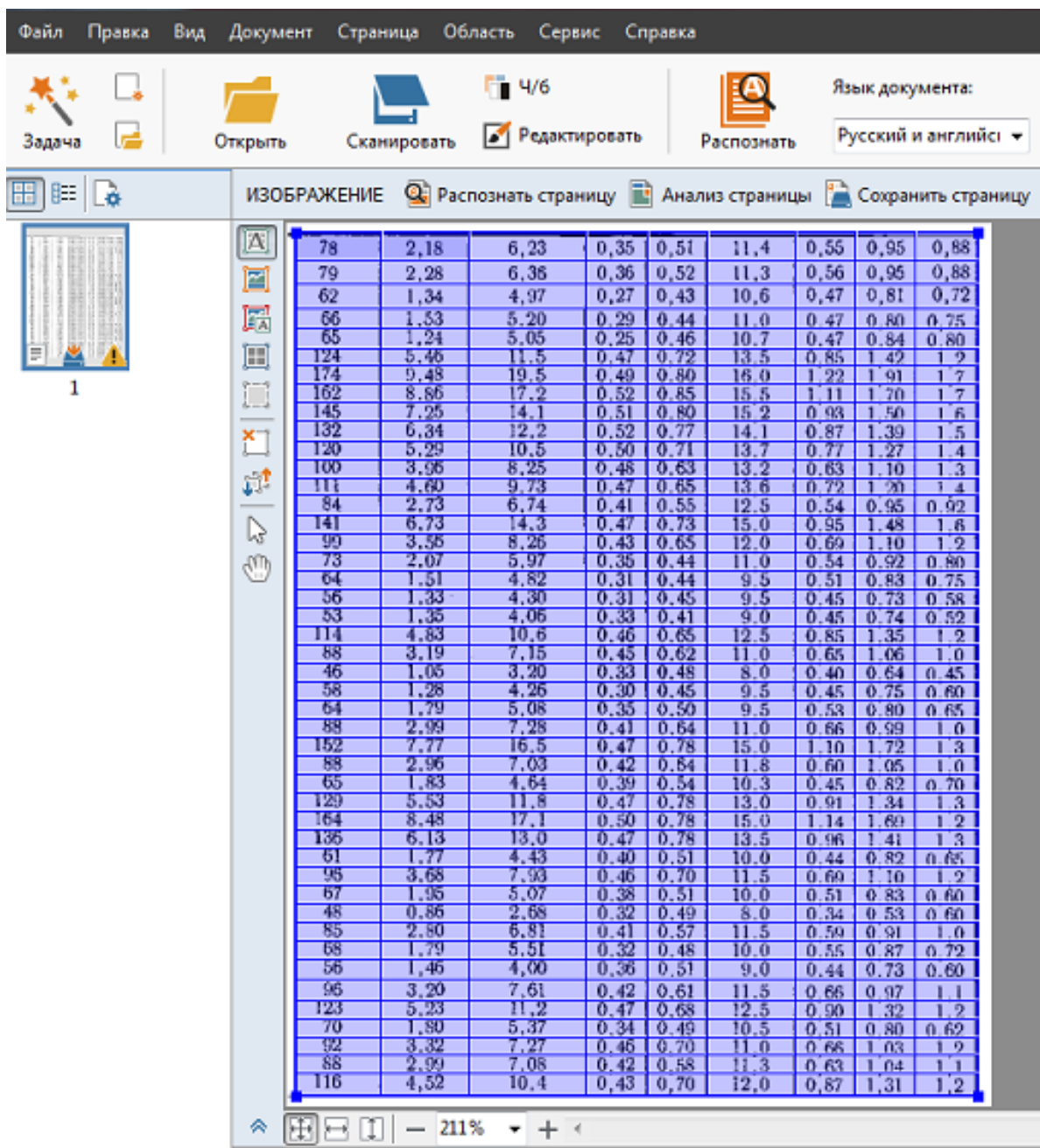


Рис. 5.3. Распознавание числовой таблицы

Проверка правильности распознавания чисел проводится в полуавтоматическом режиме, как показано на рис. 5.4. Программа автоматически отбирает и показывает символы, правильность распознавания которых находится под сомнением. Если распознавание символа выполнено правильно, следует нажать «Пропустить». В противном случае – выполнить замену. Так, на рис. 5.4 число 111 было распознано как буква Ш. Необходимо вручную заменить Ш на 111.

После передачи распознанной таблицы в дос-файл требуется преобразовать ее в текст и сохранить в txt-формате, например, как 05-01.txt. Эта информация построчно считывается в среде Mathcad, как показано ниже. Далее строятся графики эмпирической зависимости $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$, как на рис. 5.5, 5.6.

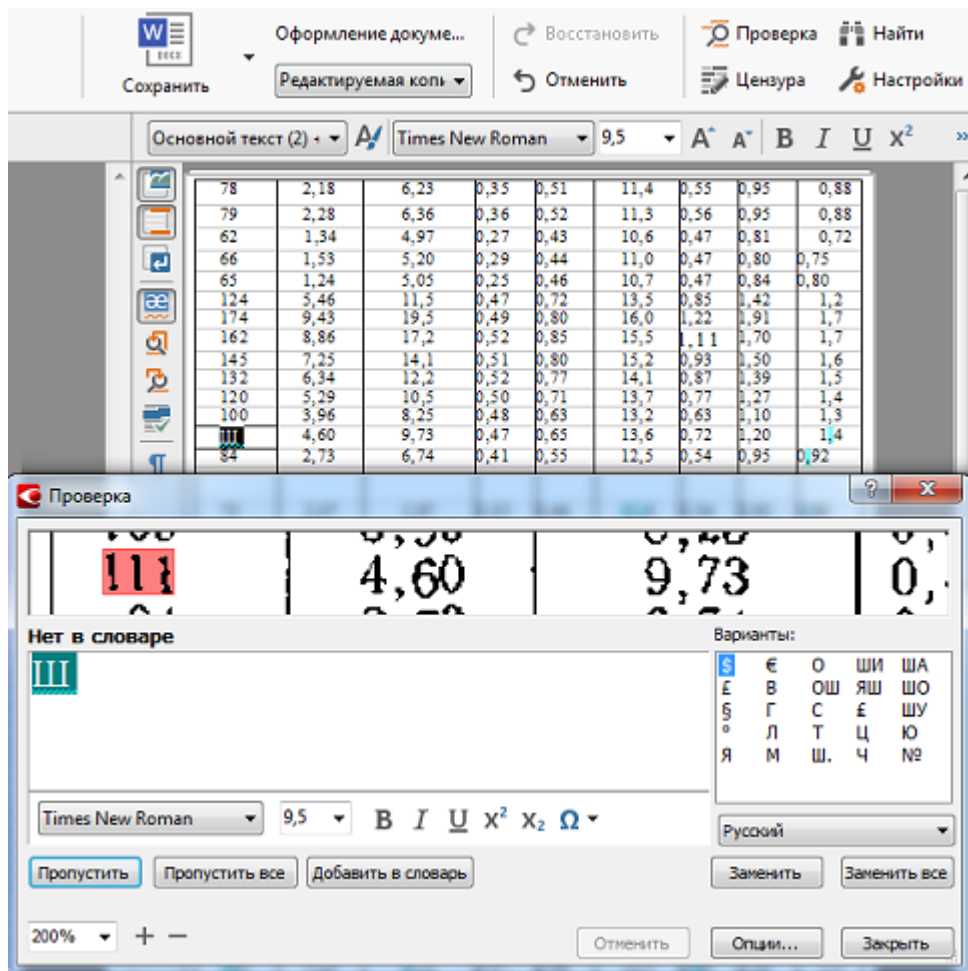


Рис. 5.4. Исправление ошибок распознавания

$ORIGIN := 1$

$QQ := READPRN("05-01.txt") \quad n := rows(QQ) \quad n = 45 \quad i := 1..n$

$H := QQ^{(1)} \quad \varrho := QQ^{(2)} \quad \omega := QQ^{(3)} \quad V := QQ^{(4)} \quad Vm := QQ^{(5)}$

$B := QQ^{(6)} \quad h := QQ^{(7)} \quad hm := QQ^{(8)} \quad I := QQ^{(9)}$

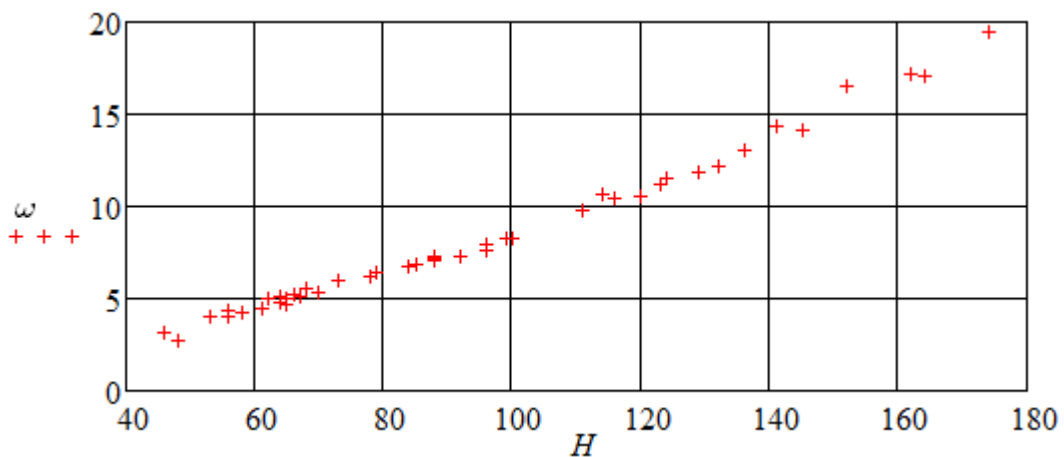


Рис. 5.5. Эмпирическая зависимость $\omega=f(H)$

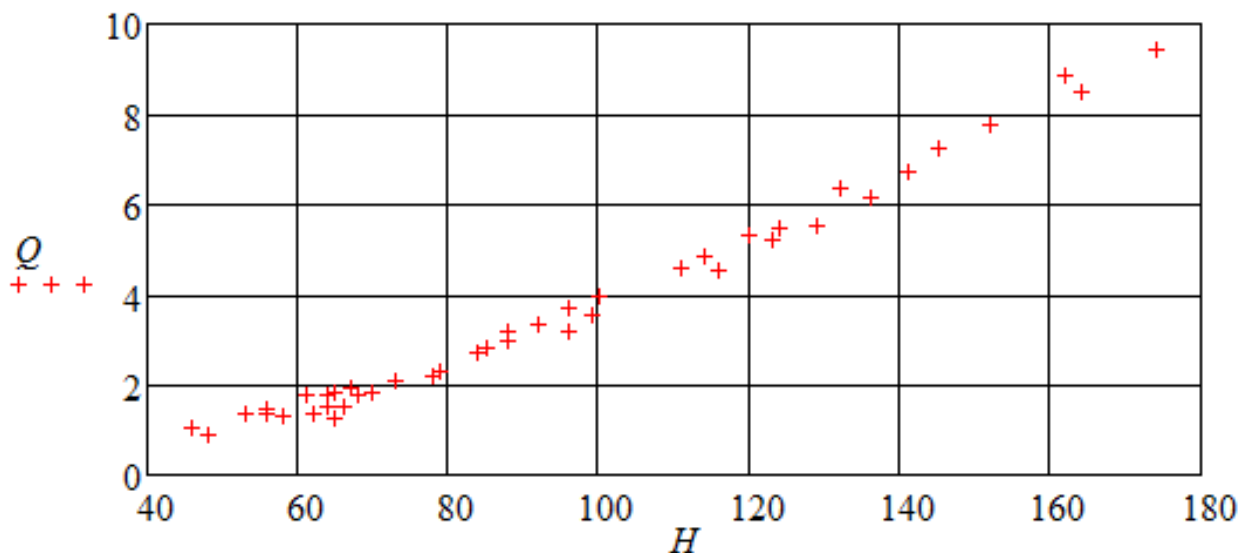


Рис. 5.6. Эмпирическая зависимость $Q=f(H)$

Контрольные вопросы

1. Как получены ежедневные значения расхода воды в Гидрологических ежегодниках?
2. Какие режимы работы есть в АBBYY FineReader?
3. Порядок формирования числовой таблицы в txt-формате.
4. Как передать распознанную числовую таблицу в Mathcad?
5. Какая информация содержится в разделе «Измеренные расходы воды» Гидрологических ежегодников?

Лабораторная работа № 6

«Расчет коэффициента шероховатости русла реки по измеренным расходам, глубинам и уклонам водной поверхности»

Элементы теории

При обработке результатов инженерно-гидрологических изысканий для строительства, а также при разработке нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты требуется определять расход водотока Q . В соответствии с нормативными документами расчет выполняют в предположении равномерного течения по формуле Шези:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad R = \omega(h_m) / \chi(h_m), \quad (6.1)$$

где I – уклон водной поверхности; C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус; ω – площадь поперечного сечения водотока; χ – смоченный периметр.

По действующим нормативным документам коэффициент Шези при средней глубине водотока до 5 м вычисляют по формуле Н.Н. Павловского

$$C = R^y / n; \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (6.2)$$

где n – коэффициент шероховатости русла, величину которого нужно выбрать по описательным характеристикам расчетного участка, приведенным в таблицах.

Получается, что коэффициент Шези является функцией глубины и коэффициента шероховатости. Если использовать измеренные величины из работы № 5, то можно считать первое равенство (6.1) уравнением с одной неизвестной величиной n .

Задание

1. По данным и работы № 5 найти эмпирическую связь между шириной водотока (по поверхности), площадью поперечного сечения водотока и наибольшей глубиной в виде показательной функции.

2. Найти с помощью интегрирования зависимость смоченного периметра от наибольшей глубины и гидравлический радиус. Сравнить радиус со средней глубиной.

3. Найти коэффициент шероховатости русла по данным наблюдений из уравнения (6.1) с помощью оператора `root`.

4. Рассчитать безразмерные параметры: число Фруда, число Рейнольдса, отношение глубины водотока к ширине.

5. Рассчитать матрицу парной корреляции. Определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на коэффициент шероховатости.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

(1960, р. Мамоновка – створ г. Мамоново)

`ORIGIN := 1`

`QQ := READPRN("05-01.txt") n := rows(QQ) n = 45 i := 1..n`

`H := QQ<1> Q := QQ<2> ω := QQ<3> V := QQ<4> Vm := QQ<5>`

`B := QQ<6> h := QQ<7> hm := QQ<8> I := QQ<9>`

Найдем эмпирическую связь между шириной водотока (по поверхности) и наибольшей глубиной в виде показательной функции (рис. 6.1).

`LB := log(B) Lhm := log(hm) vL := regress(Lhm, LB, 1)`

`Bo := 10vL4 β := vL5 Bo = 11.334 β = 0.568 BB(ho) := Bo·hoβ`

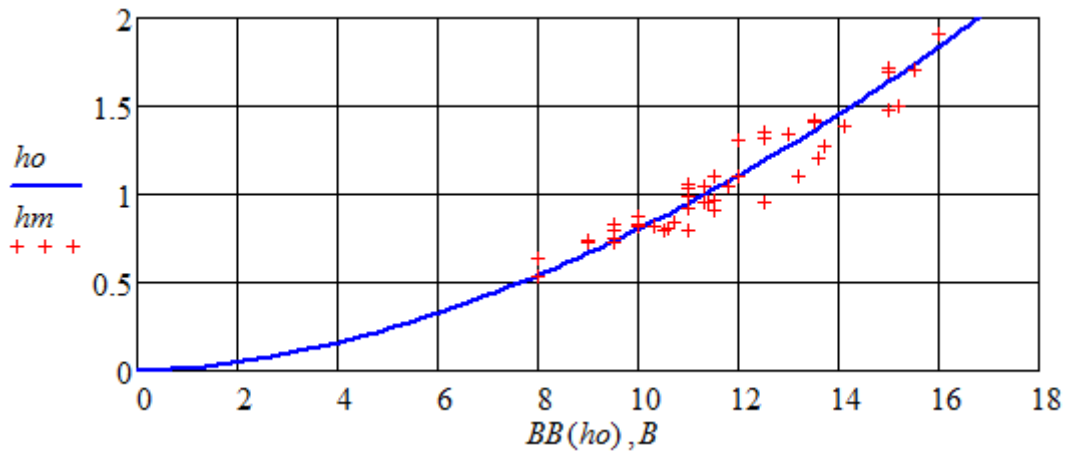


Рис. 6.1. Связь между шириной водотока и наибольшей глубиной

Найдем эмпирическую связь между площадью поперечного сечения водотока и наибольшей глубиной в виде показательной функции (рис. 6.2).

$$Lw := \log(\omega) \quad vw := \text{regress}(Lhm, Lw, 1) \quad Wo := 10^{vw4} \quad Wo = 6.99$$

$$\gamma := vw5 \quad \gamma = 1.643 \quad WW(ho) := Wo \cdot ho^\gamma$$

Найдем с помощью интегрирования зависимость смоченного периметра от наибольшей глубины и гидравлический радиус.

$$\chi(ho) := \int_0^{ho} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dz} BB(z)\right)^2} dz \quad R(ho) := \frac{WW(ho)}{\chi(ho)}$$

По рис. 6.3 видно, что гидравлический радиус в рассматриваемом створе мало отличается от средней глубины. Следовательно, в формулах (6.1) – (6.2) можно заменить R на h .

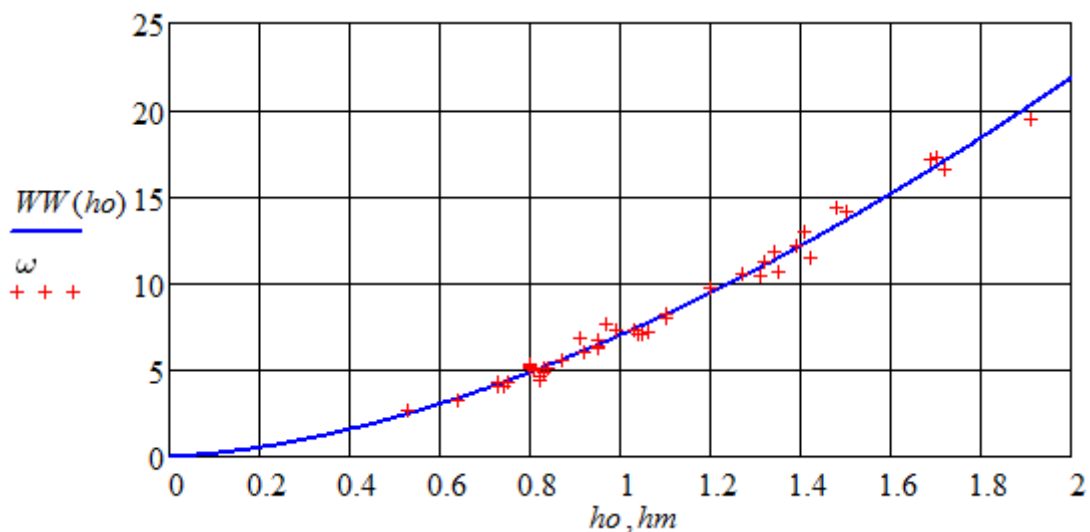


Рис. 6.2. Связь между площадью поперечного сечения водотока и наибольшей глубиной

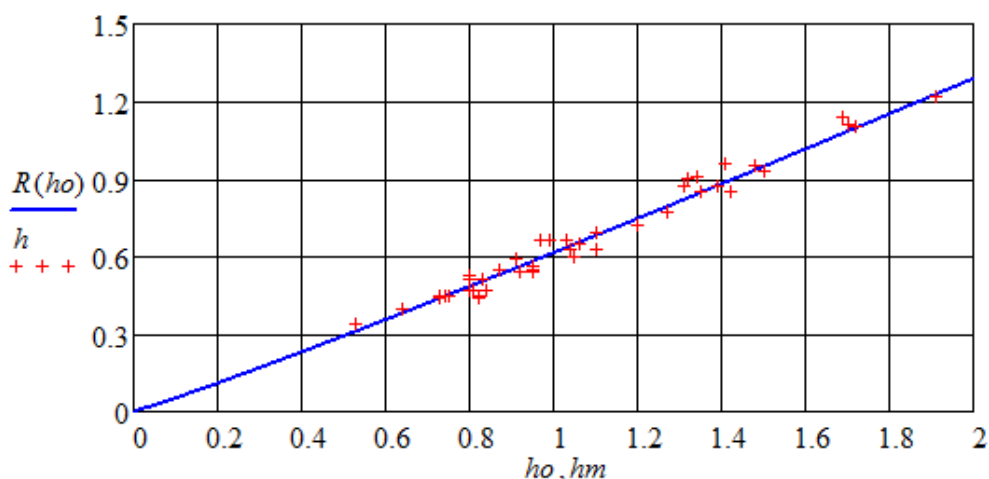


Рис. 6.3. Гидравлический радиус (линия) и средняя глубина (точки)

Коэффициент шероховатости русла найдем по данным наблюдений из уравнения (6.1) с помощью оператора root.

$$ys(hs, n) := 2.5 \cdot \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \cdot \sqrt{hs} \cdot (\sqrt{n} - 0.1) \quad no := 0.02$$

$$C(hs, n) := \frac{hs^{ys(hs, n)}}{n} \quad nn_i := \text{root}(\omega_i C(h_i, no) \cdot \sqrt{h_i I_i 0.001} - Q_i, no)$$

Рассчитаем безразмерные параметры (числа подобия): число Фруда, число Рейнольдса, отношение глубины водотока к ширине.

$$Fr_i := \frac{(V_i)^2}{g \cdot h_i} \quad Re_i := \frac{V_i h_i}{\nu} \quad b_i := \frac{h_i}{B_i}$$

Сформируем полный массив исходных данных и результатов расчета ТТ с 13-ю столбцами и рассчитаем матрицу парной корреляции (табл. 6.1).

$$TT := \text{augment}(nn, QQ, Fr, Re, b) \quad j := 1..13 \quad k := 1..13$$

$$r_{j, k} := \text{corr}(TT^{(j)}, TT^{(k)})$$

Таблица 6.1 – Матрица парной корреляции

№	n	H	Q	ω	V	Vm	B	h	hm	I	Fr	Re	b
1	1	0.94	0.93	0.96	0.67	0.83	0.9	0.95	0.95	0.87	-0.3	0.91	0.85
2	0.94	1	0.99	0.99	0.86	0.94	0.96	0.99	0.99	0.93	-0.01	0.99	0.86
3	0.93	0.99	1	0.99	0.86	0.93	0.94	0.98	0.98	0.9	0.01	0.99	0.85
4	0.96	0.99	0.99	1	0.81	0.9	0.94	0.99	0.99	0.89	-0.09	0.98	0.86
5	0.67	0.86	0.86	0.81	1	0.93	0.82	0.82	0.83	0.87	0.47	0.89	0.73
6	0.83	0.94	0.93	0.9	0.93	1	0.87	0.92	0.91	0.92	0.21	0.95	0.84
7	0.9	0.96	0.94	0.94	0.82	0.87	1	0.91	0.95	0.93	0.01	0.92	0.7
8	0.95	0.99	0.98	0.99	0.82	0.92	0.91	1	0.99	0.88	-0.1	0.99	0.93
9	0.95	0.99	0.98	0.99	0.83	0.91	0.95	0.99	1	0.9	-0.06	0.98	0.87
10	0.87	0.93	0.9	0.89	0.87	0.92	0.93	0.88	0.9	1	0.14	0.91	0.73
11	-0.3	-0.01	0.01	-0.09	0.47	0.21	0.01	-0.1	-0.06	0.14	1	0.05	-0.15
12	0.91	0.99	0.99	0.98	0.89	0.95	0.92	0.99	0.98	0.91	0.05	1	0.9
13	0.85	0.86	0.85	0.86	0.73	0.84	0.7	0.93	0.87	0.73	-0.15	0.9	1

По табл. 6.1 видно, что тесная стохастическая связь наблюдается между большинством столбцов массива TT . Коэффициент корреляции $0,94 - 0,99$ свидетельствует о связи, близкой к линейной функциональной, например, между H , Q , ω , V_m , B , h , h_m , Re .

Первая строка табл. 6.1 показывает, что наибольшее влияние на коэффициент шероховатости русла оказывают размерные величины ω и h , безразмерные Re , I . На рис. 6.4 и 6.5 представлены указанные эмпирические зависимости.

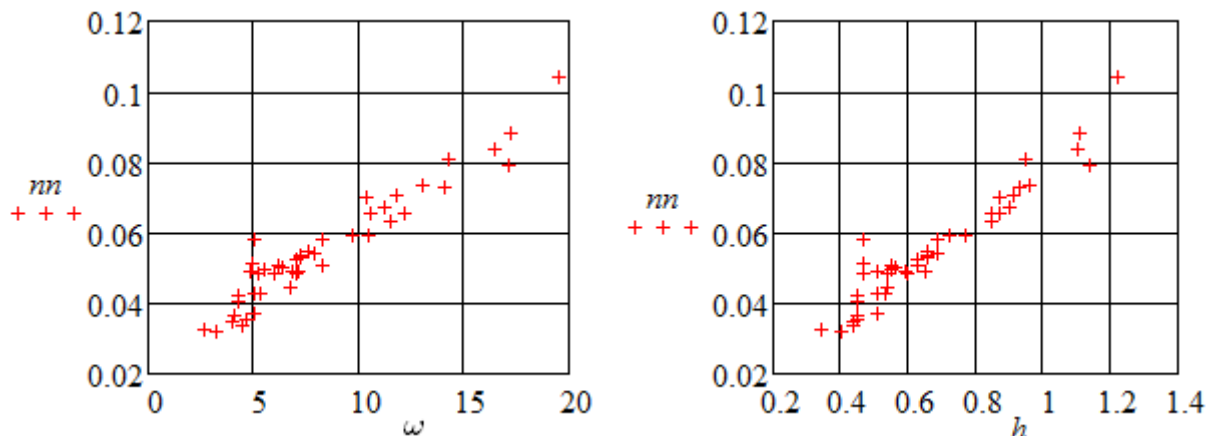


Рис. 6.4. Зависимость коэффициента шероховатости русла от площади поперечного сечения и средней глубины водотока

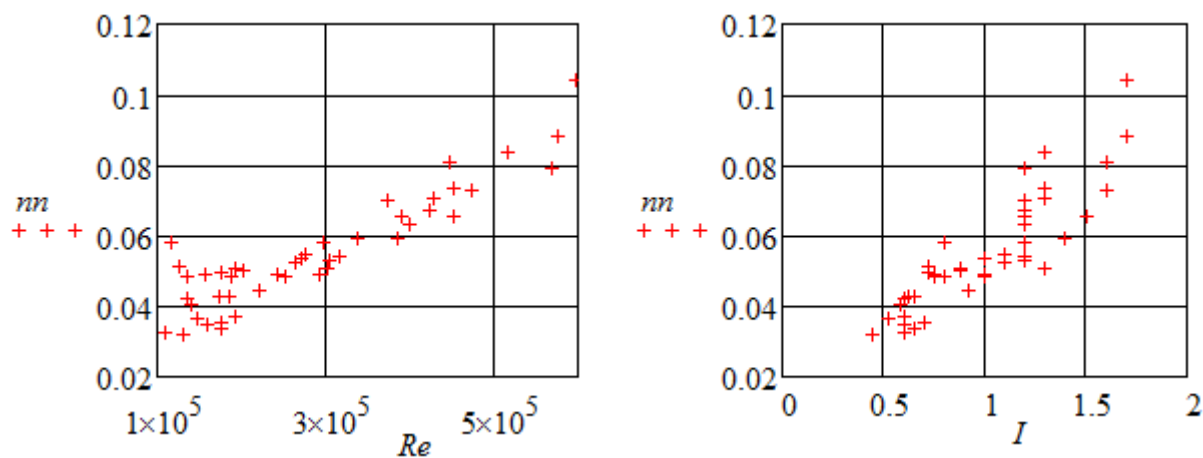


Рис. 6.5. Зависимость коэффициента шероховатости русла от числа Рейнольдса и уклона водной поверхности (‰)

Контрольные вопросы

1. Как рассчитать расход равномерного течения по формуле Шези?
2. Что такое уклон водной поверхности в промиле?
3. Что характеризует коэффициент парной корреляции?
4. Написать формулы для чисел Рейнольдса и Фруда.
5. Структура оператора root в среде Mathcad. Для чего он используется?
6. Что такое смоченный периметр, гидравлический радиус?

Лабораторная работа № 7
«Онлайн-калькулятор Гидрометеослужбы
для расчета средних значений климатических характеристик»

Элементы теории

Оперативные данные измерений климатических характеристик, в том числе скорости ветра, находятся в свободном доступе на Интернет-ресурсе Гидрометеослужбы [7]. Измерения выполняются восемь раз в сутки, через каждые три часа. Кроме того, там имеется online-калькулятор для расчета средних значений климатических характеристик.

Для средней скорости ветра применяют аналитический (теоретический) двухпараметрический закон распределения Вейбулла-Гудрича:

$$f(v) := \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma}\right) \quad (7.1)$$

Параметры распределения (7.1) β и γ находят из уравнений:

$$\beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) = V_s; \quad \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{\gamma}\right) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (V_i)^2. \quad (7.2)$$

Удельную мощность ветрового потока P используют для оценки энергетических ресурсов ветра. Величину P можно оценить по формулам:

$$P1 := 0,5 \cdot \rho \cdot V_s^3 \cdot \left(1 + 3 \cdot C_V^2 + C_S \cdot C_V^2\right) = 12.780, \quad (7.3)$$

$$P2 := 0,5 \cdot \rho \cdot \beta^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{\gamma}\right) = 12.798, \quad (7.4)$$

где V_s – средняя скорость ветра; ρ – среднее значение плотности воздуха; C_V – коэффициент вариации; C_S – коэффициент асимметрии.

Задание

1. В соответствии с вариантом сформировать на Интернет-ресурсе [7] файл с данными оперативных измерений метеорологических параметров за два месяца всех лет имеющих наблюдения одной из заданных станций. Сохранить их на собственном внешнем носителе.

2. Выбрать данные измерений средней скорости ветра и записать их в формате, удобном для работы в среде Mathcad.

3. В среде Mathcad рассчитать статистические характеристики ряда для каждого месяца. Сравнить их со справочными данными.

4. Найти параметры закона распределения Вейбулла-Гудрича, построить графики теоретической и эмпирической плотности распределения.

5. Вычислить удельные мощности ветрового потока для каждого месяца и сравнить их между собой.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями (метеостанция № 26702, Калининград)

Поиск, формирование и первичная обработка файлов данных

На Интернет-ресурсе [7] находим г. Калининград, на странице «Архив погоды в Калининграде» открываем вкладку «Статистика погоды». Устанавливаем диапазон дат по всем данным архива для января: с 01.01.2006 по 31.01.2017, как на рис. 7.1.

Период, месяц	Среднее значение	Максимальное значение (дата)	Количество наблюдений
01.01.2006 - 31.01.2017, Январь	2.1	9 (05.01.2008)	3036

Рис. 7.1. Расчет (online) среднего значения скорости ветра в январе по станции Калининград (2006 – 2017)

Отмечаем Ff – скорость ветра на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осредненная за 10-минутный период, непосредственно предшествующий сроку наблюдений (м/с). Выбираем «только месяц» – январь и нажимаем «Выполнить расчет». Появляется среднее значение скорости ветра в январе 2,1 м/с, максимальное значение 9 м/с (с датой) и количество наблюдений $n_1 = 3036$. Повторяем процедуру еще для двух месяцев (по варианту).

На той же странице открываем вкладку «Скачать архив погоды». Устанавливаем диапазон дат для января по каждому году. На рис. 7.2 приведен пример для 2015 г. Отмечаем «все дни» и формат «XLS (Excel)». Нажимаем «Выбрать в файл GZ (архив)» и затем появляющуюся отметку «Скачать». Распаковываем закачанный файл и сохраняем его на собственном внешнем носителе, например, под именем 2015_01.xls.

Открываем указанный файл, выделяем столбец средних скоростей, как показано на рис. 7.3, копируем его (без заголовка, только числа!) и заносим в текстовый файл (можно с расширением doc). Процедуру повторяем для тех лет, по которым есть результаты наблюдений, – в рассматриваемом примере с 2006 по 2017 г. Полученный файл с длинным столбцом сохраняем в формате 01.txt. То же самое проделываем еще для одного месяца по варианту.

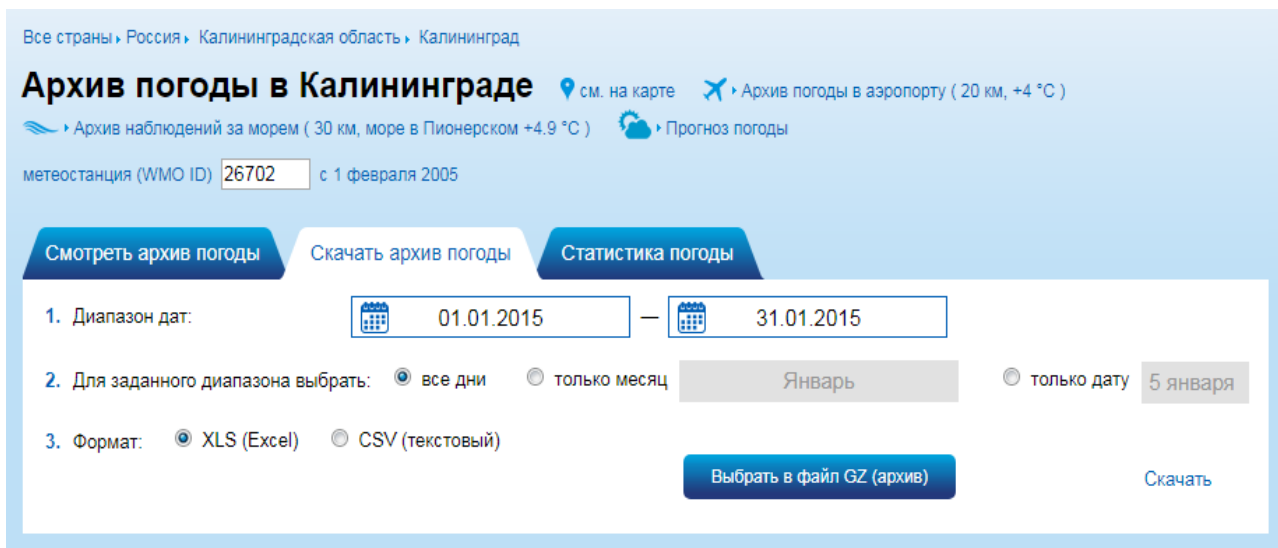


Рис. 7.2. Формирование файла с данными метеорологических наблюдений на станции Калининград в январе 2015 г.

Расчет статистических характеристик ряда в среде Mathcad

ORIGIN := 1

Построчное считывание данных

$V := \text{READPRN}("01.txt")$

Количество строк

$n := \text{rows}(V) = 3081$

Индексы массивов

$i := 1..n$

A1 f_x # Метеостанция Калининград, Россия, WMO_ID=26702, выборка с 01.01.2015 по 31.01.2015, все дни

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
7	Местное в	T	Po	P	Pa	U	DD	Ff	ff10	ff3	N	WW	W1	
8	31.01.2015	1,0	731,3	733,3	0,6	83	Ветер, дум	3	6	6	100%			
9	31.01.2015	0,4	730,7	732,7	0,7	89	Ветер, дум	1	3	6	100%	Дымка.	Снег или	
10	31.01.2015	0,8	730,0	731,9	1,1	90	Ветер, дум	2	4	7	100%	Снег нели	Снег или	
11	31.01.2015	1,2	728,9	730,9	-0,2	94	Ветер, дум	2	5	5	100%	Снег непр	Снег или	
12	31.01.2015	1,4	729,1	731,0	0,1	94	Ветер, дум	1	2	4	100%	Дождь не:	Дождь.	
13	31.01.2015	1,5	729,0	731,0	0,0	94	Ветер, дум	1	2	6	100%	Дождь не:	Дождь.	
14	31.01.2015	1,5	729,0	730,9	-0,6	92	Ветер, дум	2	4	8	100%	Морось не	Морось.	
15	31.01.2015	1,7	729,6	731,5	-1,0	93	Ветер, дум	4	8	9	100%	Дождь (не	Дождь.	
16	30.01.2015	2,3	730,6	732,5	-1,5	84	Ветер, дум	2	6	8	100%	Дождь (не	Облака г	
17	30.01.2015	2,4	732,1	734,2	-0,8	77	Ветер, дум	3	7	9	100%			
18	30.01.2015	1,9	732,9	734,9	-2,1	77	Ветер, дум	3	8	11	100%			
19	30.01.2015	0,6	735,0	736,9	-1,0	79	Ветер, дум	4	9	9	100%			
20	30.01.2015	-1,4	736,0	738,1	-0,8	82	Ветер, дум	3	8	8	100%			
21	30.01.2015	-1,6	736,8	738,8	-0,7	85	Ветер, дум	3	6	9	90	или бо	Дымка.	Облака г

Рис. 7.3. Выбор в excel-файле столбца с данными измерений средней скорости ветра

Точечная оценка математического ожидания

$V_s := \text{mean}(V) = 2.088$

Точечная оценка среднего квадратичного отклонения (с.к.о.) $sV := \text{Stdev}(V) = 1.265$

Коэффициент вариации

$C_v := \frac{sV}{V_s} = 0.606$

Доверительный интервал для математического ожидания ($p = 0.98$) $t := 2.3$

$$Vd1 := V_s - t \cdot \frac{sV}{\sqrt{n}} = 2.036 \quad Vd2 := V_s + t \cdot \frac{sV}{\sqrt{n}} = 2.141$$

Центральные моменты 3-го и 4-го порядка

$$\mu_3 := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (V_i - V_s)^3 \quad \mu_4 := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (V_i - V_s)^4$$

Коэффициент асимметрии

$$C_s := \frac{\mu_3}{sV^3} = 0.849$$

Эксцесс распределения

$$E := \frac{\mu_4}{sV^4} - 3 = 0.996$$

В справочнике [12] для станции Калининград приведены характеристики средней скорости ветра в январе: $V_s = 4,3$ м/с; $C_v = 0,5$; $C_s = 0,7$. Средняя скорость больше в 2 раза точечной оценки, полученной в нашем расчете. Коэффициенты вариации и асимметрии также отличаются, но не столь значительно. Однако нужно учесть, измерения в [12] выполнялись на высоте 16 м, где скорость ветра выше, чем на высоте 10 м.

Плотность вероятности средней скорости ветра

Параметры распределения Вейбулла-Гудрича найдем с помощью решения уравнений численным методом:

$$\beta_0 := 2 \quad \gamma_0 := 1$$

Given

$$\beta_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma_0}\right) = V_s \quad \beta_0^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{\gamma_0}\right) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (V_i)^2$$

$$Y := \text{Find}(\beta_0, \gamma_0) \quad \beta := Y_1 \quad \gamma := Y_2 \quad \beta := 2.34 \quad \gamma := 1.70$$

Формула теоретической плотности вероятности скорости ветра:

$$f(v) := \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{\beta}\right)^\gamma\right)$$

Вспомогательные параметры:

Наибольшее значение ряда

$$V_m := \max(V) = 9$$

Количество интервалов скорости

$$n_j := V_m + 1 = 10$$

Количество границ интервалов

$$n_l := n_j + 1 = 11$$

Индексы массивов

$$j := 1..n_j \quad l := 1..n_l$$

Размер интервалов

$$\Delta V = 1$$

Границы интервалов (рис. 7.4)

$$V_{g_l} := -1.5 + l \cdot \Delta V$$

Средины интервалов

$$V_{I_j} := j - 1$$

Распределение данных измерений по интервалам

$$N_{g_j} := \text{hist}(V_g, V)$$

Проверка общего количества наблюдений

$$KN := \sum N_{g_j} = 3081$$

Расчет эмпирической плотности вероятности

$$p_{o_j} := \frac{N_{g_j}}{n \cdot \Delta V}$$

	1
1	-0.5
2	0.5
3	1.5
4	2.5
5	3.5
6	4.5
7	5.5
8	6.5
9	7.5
10	8.5
11	9.5

	1
1	188
2	898
3	1.051·10 ³
4	549
5	241
6	114
7	29
8	10
9	0
10	1

Рис. 7.4. Границы интервалов Vg (м/с) и количество измерений Ng , попавших в заданные интервалы в январе (2006 – 2017)

На рис. 7.5 видно хорошее согласие эмпирической и теоретической (Вейбулла-Гудрича) плотности вероятности скорости ветра в январе.

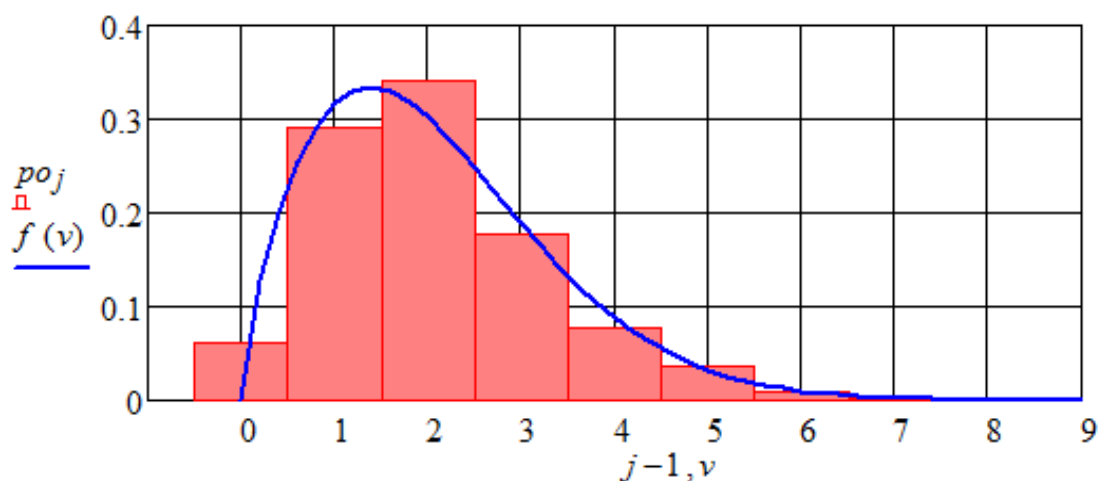


Рис. 7.5. Плотность вероятности скорости ветра (м/с) в январе: столбцы – эмпирическая, линия – теоретическая Вейбулла-Гудрича

Удельную мощность ветрового потока рассчитаем по двум формулам:

Среднее значение плотности воздуха

$$\rho := 1.226$$

$$P1 := 0.5 \cdot \rho \cdot V_s^3 \cdot \left(1 + 3 \cdot C_V^2 + C_S \cdot C_V^2\right) = 12.780$$

$$P2 := 0.5 \cdot \rho \cdot \beta^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{\gamma}\right) = 12.798$$

Разница невелика, принимаем $P = 12,8$ Вт/м². Это низкий уровень ветро-энергетических ресурсов. Выполнить расчет еще для одного месяца и сравнить результаты расчетов между собой.

Контрольные вопросы

1. Какие оперативные данные измерений климатических характеристик есть в свободном доступе на Интернет-ресурсе Гидрометеослужбы?
2. С какой частотой выполняются измерения климатических характеристик на метеостанциях?
3. Как работает online-калькулятор Гидрометеослужбы?
4. Как найти удельную мощность ветрового потока?
5. Какой закон распределения используют для плотности вероятности средней скорости ветра?

Лабораторная работа № 8

«Специализированные массивы данных для климатических исследований»

Элементы теории

На сайте [11] представлены базовые массивы данных по основным метеорологическим элементам в рамках реализации концепции глобальной рамочной основы для климатического обслуживания, согласно которой должно быть обеспечено функционирование открытого полноценного доступа к специализированным климатическим массивам исторических данных через Интернет. В свободном доступе следующие массивы данных:

1. Координаты метеорологических станций;
2. Температура воздуха (месячные данные);
3. Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные);
4. Температура почвы на глубинах до 320 см (ежедневные данные);
5. Сумма осадков (месячные данные);
6. Месячные суммы осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов;
7. Атмосферное давление на уровне станции (месячные данные);
8. Продолжительность солнечного сияния (месячные данные);
9. Упругость водяного пара (месячные данные);
10. Основные метеорологические параметры (сроки);
11. Характеристики снежного покрова (ежедневные данные);
12. Маршрутные снегомерные съемки;
13. Атмосферные явления (срочные данные);
14. Суточные данные о температуре почвы по коленчатым термометрам;
15. Радиозондовые наблюдения (срочные данные);
16. Аэрологические наблюдения (месячные данные);
17. Среднемесячные значения в пограничном слое;
18. Неблагоприятные условия погоды, нанёсшие экономические потери;
19. Специализированные массивы, созданные соисполнителями.

Наземная наблюдательная сеть Калининградского ЦГМС состоит из семи метеорологических станций. В базе [ФГБУ] есть данные по четырем станциям (табл. 8.1). Данные по метеостанциям «Пионерский», «Черняховск» и «Мамоново» отсутствуют.

Таблица 8.1 – Координаты метеостанций Калининградской области

Номер метеостанции	Название	Координаты
26614	Советск	55.08 с.ш. 21.93 в.д.
26701	Балтийск	54.65 с.ш. 19.90 в.д.
26702	Калининград	54.72 с.ш. 20.62 в.д.
26706	Железнодорожный	54.38 с.ш. 21.30 в.д.

Не во всех разделах есть данные по калининградским метеостанциям. Например, в источнике «Метеопараметры в пограничном слое атмосферы» их нет.

Задание

1. Изучить структуру массивов данных для климатических исследований на Интернет-ресурсе [ФГБУ].
2. Направить запросы «Максимальная скорость ветра» в массиве «Основные метеорологические параметры (сроки)» на данные наблюдений на определенной станции за четыре года (по варианту).
3. Обработать полученные файлы в среде Mathcad. Сформировать общую для всей группы таблицу максимальных годовых скоростей ветра.
4. Найти параметры закона распределения Гумбеля, построить графики теоретической и эмпирической обеспеченности максимальной скорости ветра.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

Выбор метеостанций в массиве данных для климатических исследований Откроем Интернет-ресурс [11]. На рис. 8.1 видно, что в источнике «Атмосферные осадки» были выделены и с помощью зеленой стрелки перенесены в правую панель четыре калининградские станции.

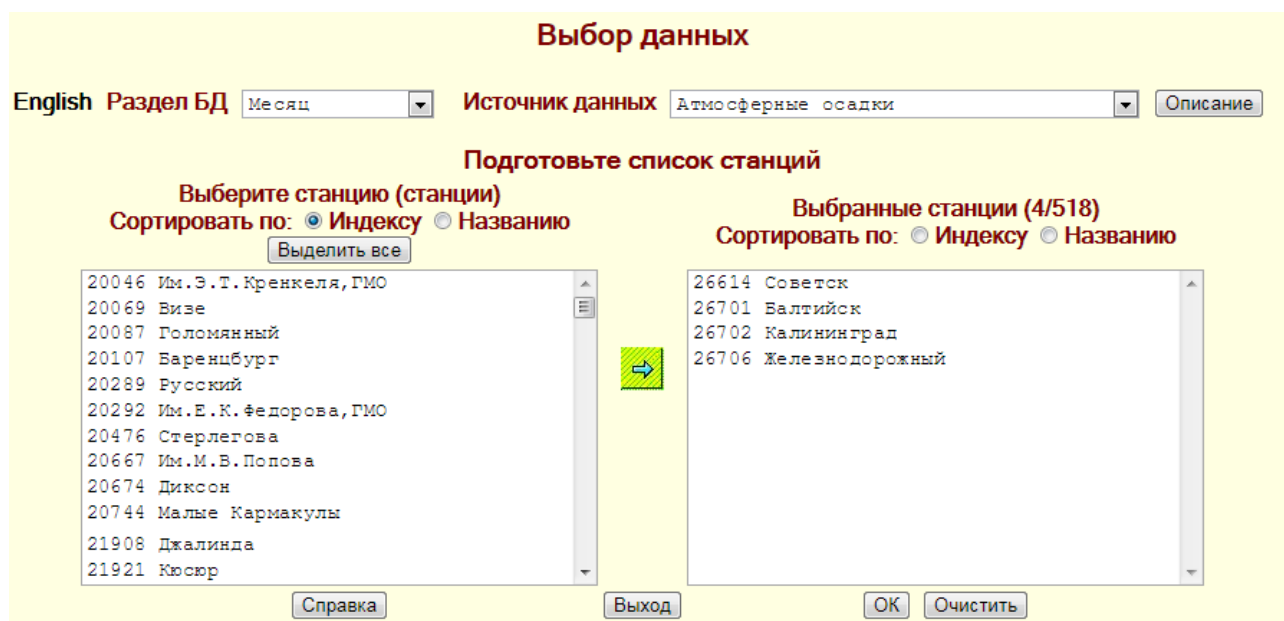


Рис. 8.1. Пример выбора станций из источника «Атмосферные осадки»

Массив «Основные метеорологические параметры (сроки)»

Чтобы получить данные с максимальной скоростью ветра (порывов) выбираем источник «Основные метеорологические параметры (сроки)». Открываем страницу с описанием массива срочных данных (табл. 8.2, рис. 8.2). Видим, что в табл. 8.2 имеется большое количество метеорологических наблюдений, в том числе есть графа «Максимальная скорость ветра».

Таблица 8.2 – Формат записи в файлах данных (без признаков качества)

Название параметра	Длина	Единица измерения
Синоптический индекс станции	5	
Год по Гринвичу	4	
Месяц по Гринвичу	2	
День по Гринвичу	2	
Срок по Гринвичу	2	
Горизонтальная видимость	2	км
Общее количество облачности	2	баллы
Количество облачности нижнего яруса	2	баллы
Форма облаков верхнего яруса	1	
Форма облаков среднего яруса	1	
Форма облаков вертикального развития	1	
Слоистые и слоисто-кучевые облака	1	
Слоисто-дождевые, разорвано-дождевые облака	1	
Высота нижней границы облачности	4	м
Признак способа определения высоты нижней границы облачности	1	
Признак наличия облачности ниже уровня станции	1	
Погода между сроками	1	
Погода в срок наблюдения	2	
Направление ветра	3	румбы
Средняя скорость ветра	2	м/с
Максимальная скорость ветра	2	
Сумма осадков за период между сроками	6,1	мм
Температура поверхности почвы	5,1	оС
Минимальная температура поверхности почвы	5,1	
Минимальная температура поверхности почвы между сроками	5,1	оС
Максимальная температура поверхности почвы между сроками	5,1	оС
Температура поверхности почвы по максимальному термометру	5,1	оС

Название параметра	Длина	Единица измерения
Температура воздуха по сухому термометру	5,1	оС
Температура воздуха по смоченному термометру	5,1	оС
Признак наличия льда на батисте	1	
Температура воздуха по спирту минимального термометра	5,1	оС
Минимальная температура воздуха между сроками	5,1	оС
Максимальная температура воздуха между сроками	5,1	оС
Температура воздуха по макс. термометру после встряхивания	5,1	оС
Парциальное давление водяного пара	5,2	мб
Относительная влажность воздуха	3	%
Дефицит насыщения водяного пара	6,2	мб
Температура точки росы	5,1	оС
Атмосферное давление на уровне станции	6,1	Мб
Атмосферное давление на уровне моря	6,1	Мб
Величина барической тенденции	4,1	мб

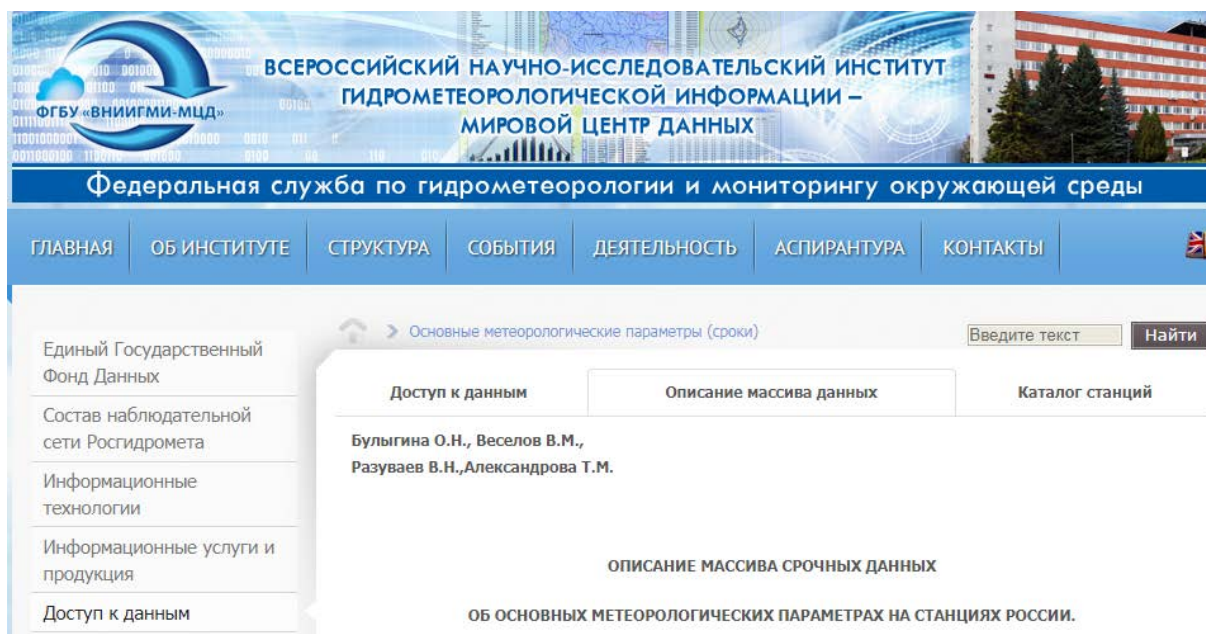


Рис. 8.2. Страница с описанием массива срочных данных

Выбор максимальных скоростей ветра

Выбираем раздел БД «Сроки», как на рис. 8.3; источник данных – «8-срочные наблюдения на станциях»; станцию по варианту, в примере – Калининград. После чего нажимаем «ОК». На рис. 8.4 показана подготовка запроса:

отмечаем нужный год, в примере – 2005. Нам не нужны все данные наблюдений, приведенные в табл. 8.2. Выбираем только «Максимальная скорость ветра» и «Включить в запрос», затем – «ОК».

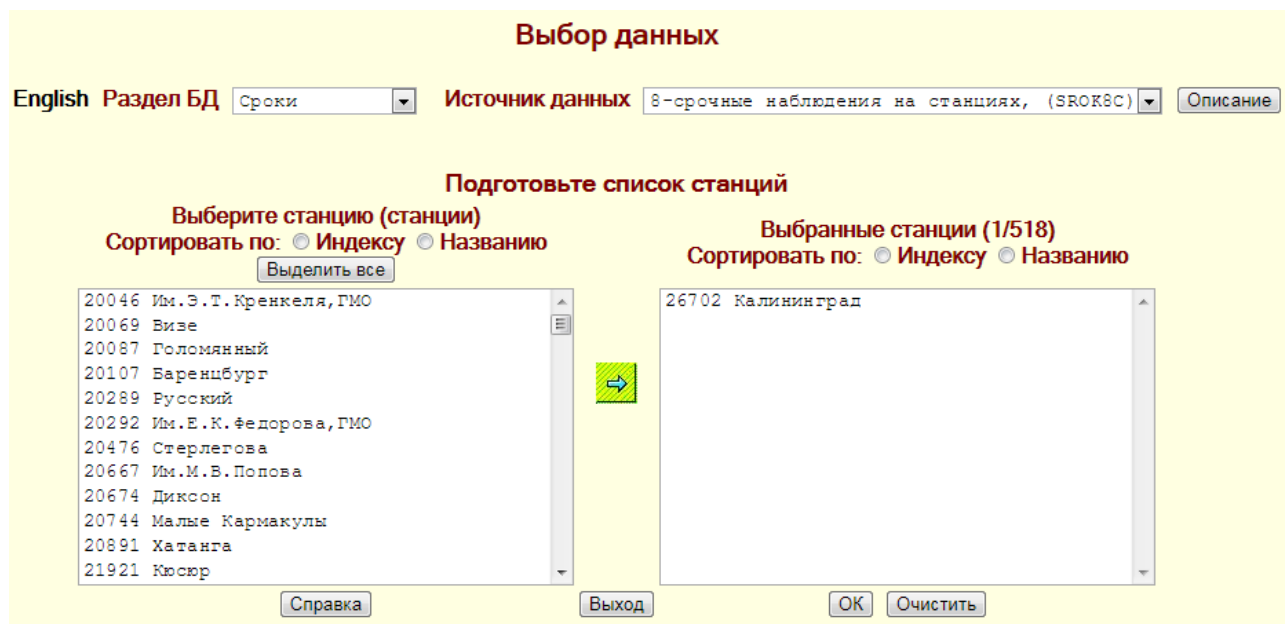


Рис. 8.3. Выбор данных из базы «Сроки» источника «8-срочные наблюдения на станциях»

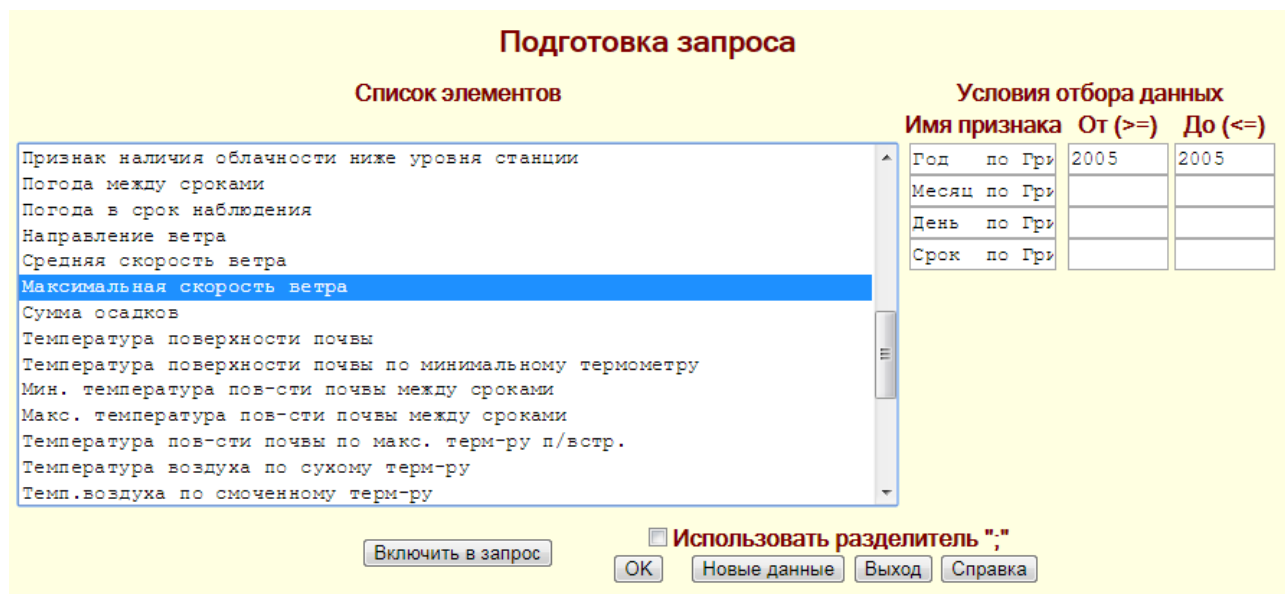


Рис. 8.4. Подготовка запроса «Максимальная скорость ветра» в 2005 г.

На рис. 8.5 показан результат выборки. Клавиша «Открыть» позволяет увидеть все данные в txt-файле. Для загрузки файла на свой компьютер следует нажать «Упаковать и сохранить», в сохраненном файле будут не только запрошенные данные, но и их описание, в нашем случае: 1) синоптический индекс станции, 2) год по Гринвичу, 3) месяц по Гринвичу, 4) день по Гринвичу,

5) срок по Гринвичу, 6) максимальная скорость ветра, 7) признак качества, 8) признак наличия знака >.

Первые пять столбцов будут записаны в файл автоматически. Нужный нам столбец – шестой.

Результат выборки (показан фрагмент, полный объем 79 кВ (упаковано в 6 кВ) можно получить при нажатии кнопки "Открыть" или "Упаковать и сохранить")

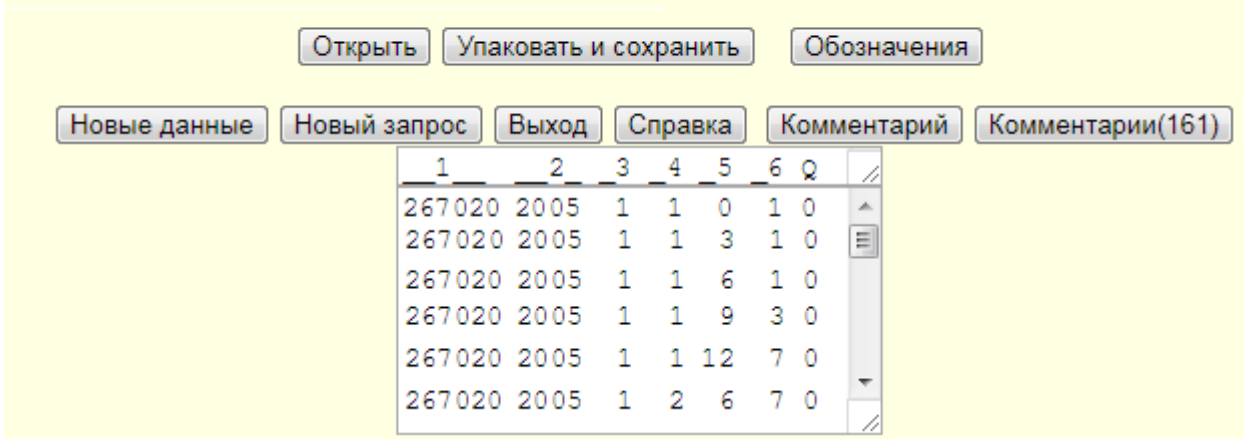


Рис. 8.5. Результат выборки «Максимальная скорость ветра» в 2005 г.

Далее нажимаем «Новый запрос» и повторяем описанную процедуру для всех нужных лет по варианту.

Обработка рядов максимальных скоростей ветра в среде Mathcad

ORIGIN := 1

Построчное считывание данных

$V05 := READPRN("2005.txt")$

Количество строк

$n := rows(V05) = 2920$

Индексы массивов

$i := 1..n$

Точечная оценка математического ожидания

$Vs := mean(V05) = 5.345$

Точечная оценка с.к.о.

$sV := Stdev(V05) = 2.745$

Коэффициент вариации

$Cv := \frac{sV}{Vs} = 0.514$

Максимальная годовая скорость ветра

$V2005m := max(V05) = 18$

Далее процедуру повторяем для каждого года (по варианту) и заполняем табл. 8.3, часть данных берем из табл. 8.2.

Таблица 8.3 – Наибольшие годовые скорости порывов ветра в Калининграде

Год	Наибольшая скорость порывов ветра, м/с	Год	Наибольшая скорость порывов ветра, м/с
...			
1986	22	2002	21
1987	25	2003	15

1988	20	2004	24
1989	20	2005	18

Окончание табл. 8.3

Год	Наибольшая скорость порывов ветра, м/с	Год	Наибольшая скорость порывов ветра, м/с
1990	24	2006	21
1991	19	2007	23
1992	21	2008	19
1993	25	2009	19
1994	24	2010	17
1995	19	2011	25
1996	18	2012	25
1997	19	2013	19
1998	18	2014	20
1999	34	2015	23
2000	18	2016	17
2001	19	2017	23

Построчное считывание данных $VM := READPRN("VM 1986-17.txt")$

$$VGm := VM^{<2>} \quad n := \text{rows}(VM) = 32 \quad j := 1..n$$

Точечная оценка математического ожидания $VGs := \text{mean}(VGm) = 21.063$

Точечная оценка с.к.о. $sVG := \text{Stdev}(VGm) = 3.627$

Из приложения Б для $n = 32$ находим и присваиваем:

$$y := 0.538 \quad \sigma_y := 1.119$$

Параметры закона распределения Гумбеля можно найти по формулам:

$$\alpha := \frac{\sigma_y}{sVG} = 0.308 \quad q := VGs - \frac{y}{\alpha} = 19.319$$

Формула теоретической плотности вероятности (рис. 7.6)

$$f(v) := \alpha \cdot \exp(-\alpha \cdot (v - q) - \exp(-\alpha \cdot (v - q))).$$

Теоретическая функция распределения и обеспеченность максимальной годовой скорости ветра по Гумбелю (рис. 8.6):

$$F(v) := \int_{10}^v f(t) dt, \quad P(v) := 100 \cdot (1 - F(v)).$$

Эмпирическая обеспеченность

$$VV := \text{sort}(VGm) \quad Vo := 10 .. 45 \quad Ve_j := VV_{n-j+1} \quad PE_j := \frac{100 \cdot j}{n+1}$$

Максимальную расчетную скорость ветра обеспеченности $P = 1, 2$ и 5% находим, решая численным методом уравнения:

$$v := VGs \quad V_{-1} := \text{root}(P(v) - 1, v) \quad V_{-1} = 34.230$$

$$V_{2} := \text{root}(P(v) - 2, v) \quad V_{2} = 31.967$$

$$V_{5} := \text{root}(P(v) - 5, v) \quad V_{5} = 28.947$$

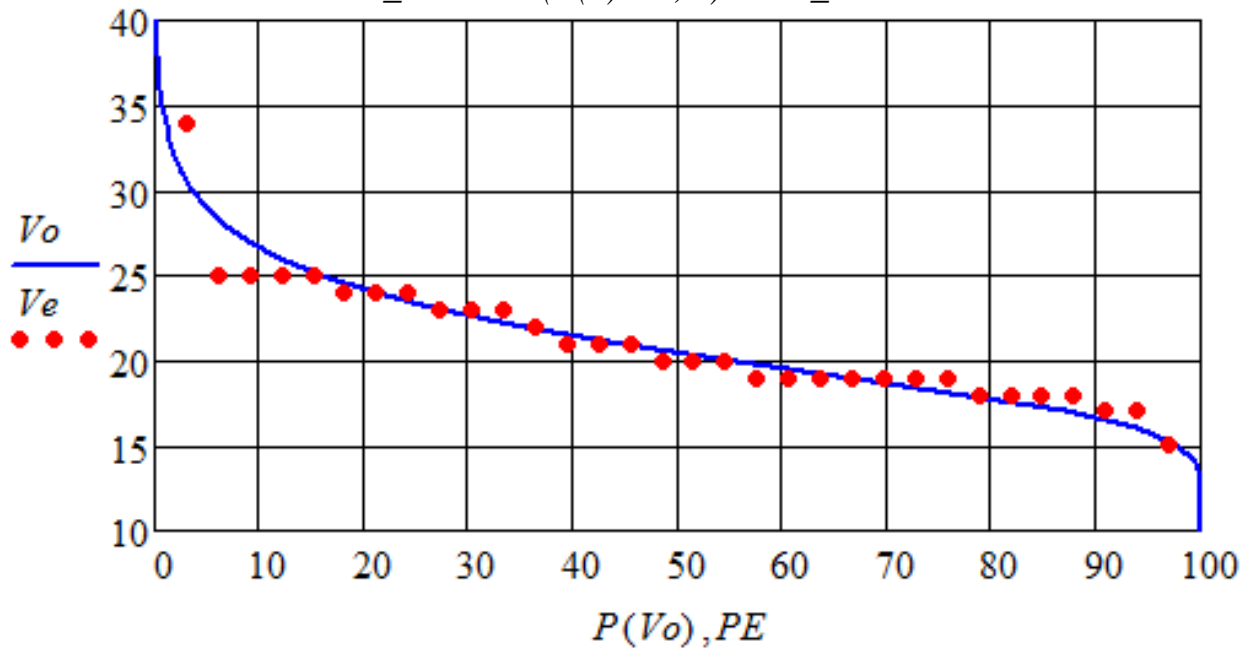


Рис. 8.6. Эмпирическая (точки) и теоретическая (Гумбеля) кривая обеспеченности наибольшей годовой скорости ветра (м/с)

Контрольные вопросы

1. Назовите действующие метеостанции Калининградской области.
2. Опишите структуру массивов данных для климатических исследований.
3. Что относится к основным метеорологическим параметрам?
4. Камим законом можно описать распределение максимальных скоростей ветра?
5. Как найти максимальную расчетную скорость ветра обеспеченности $P = 1\%$?

Лабораторная работа № 9

«Онлайн-метод приближенной оценки рельефа местности»

Элементы теории

Топографическая съемка местности является неотъемлемой частью инженерных изысканий для строительства, в том числе объектов водоснабжения и водоотведения. Для небольших участков инженерно-геодезические изыскания проводятся традиционными методами. В случае крупных территорий используется аэро- и космическая съемка. Финансовые затраты на такие работы могут быть довольно высокими. Однако для предварительной оценки возможности реализации проектов объектов водоснабжения и водоотведения нередко не требуются результаты высокоточной (и дорогостоящей) геодезической съемки.

В данной работе показана возможность предварительной оценки характеристик нескольких участков при выборе площадки для реализации проектов объектов водоснабжения и водоотведения с помощью современных информационных технологий.

Существует несколько Интернет-ресурсов, позволяющих получить значения высоты над уровнем моря заданных точек поверхности Земли. Для целей лабораторной работы наиболее подходящим из них является [10].

Задание

1. На Интернет-ресурсе [10] построить маршрут съемки уровня местности участка, заданного по варианту. Сохранить расстояние, высоту, широту и долготу точек съемки.

2. В среде Mathcad построить график изменения уровня местности по маршруту съемки и сравнить тем, что генерируется online.

3. Обработать полученный массив данных в среде Mathcad, пересчитать широту и долготу точек съемки в линейные координаты на местности (в метрах).

4. Записать данные съемки в текстовый файл P.txt в формате (№, X, Y, Z)

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями Построение маршрута съемки уровня местности

Задан участок съемки размером 8 на 6 км с центром в деревне Зеленый Бор на р. Писсе (рис. 9.1 – 9.2). Открываем Интернет-ресурс [10], изменяем масштаб, чтобы отметка составляла 1 км. Намечаем начальную точку маршрута А на 3 км выше и 4 км левее указанного центра. Далее проводим горизонтальные и вертикальные отрезки маршрута, как показано на рис. 9.2. Расстояние между параллельными линиями должно быть примерно 0,5 км. После отметки точки В, нажимая «Классик», получаем график изменения уровня местности по маршруту (рис. 9.1). Далее нажимаем CSV с отметкой Широта/Долгота. Появляется числовой массив данных (см. внизу рис. 9.2.), который необходимо скопировать и записать в текстовый файл Top.txt (первую текстовую строку в окне копировать не нужно).

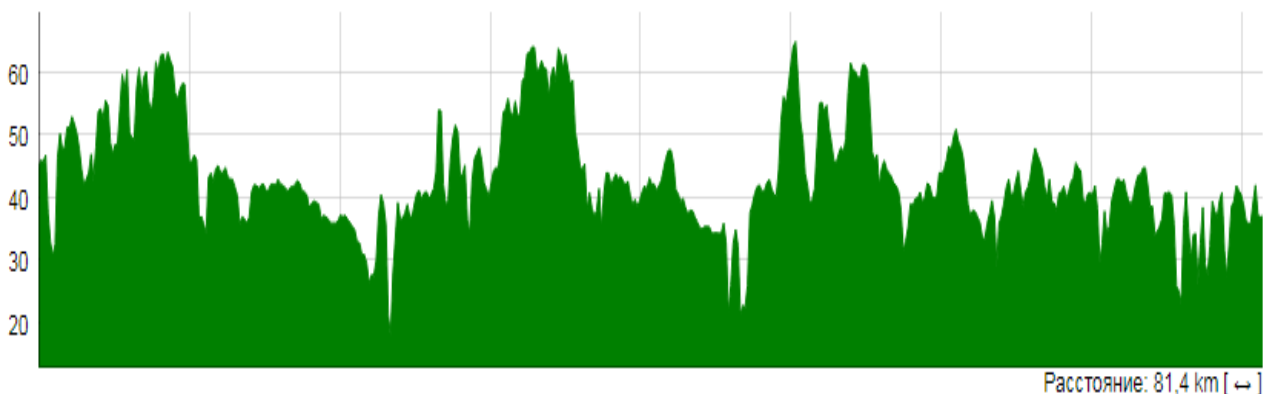


Рис. 9.1. Онлайн-график изменения уровня местности по маршруту съемки

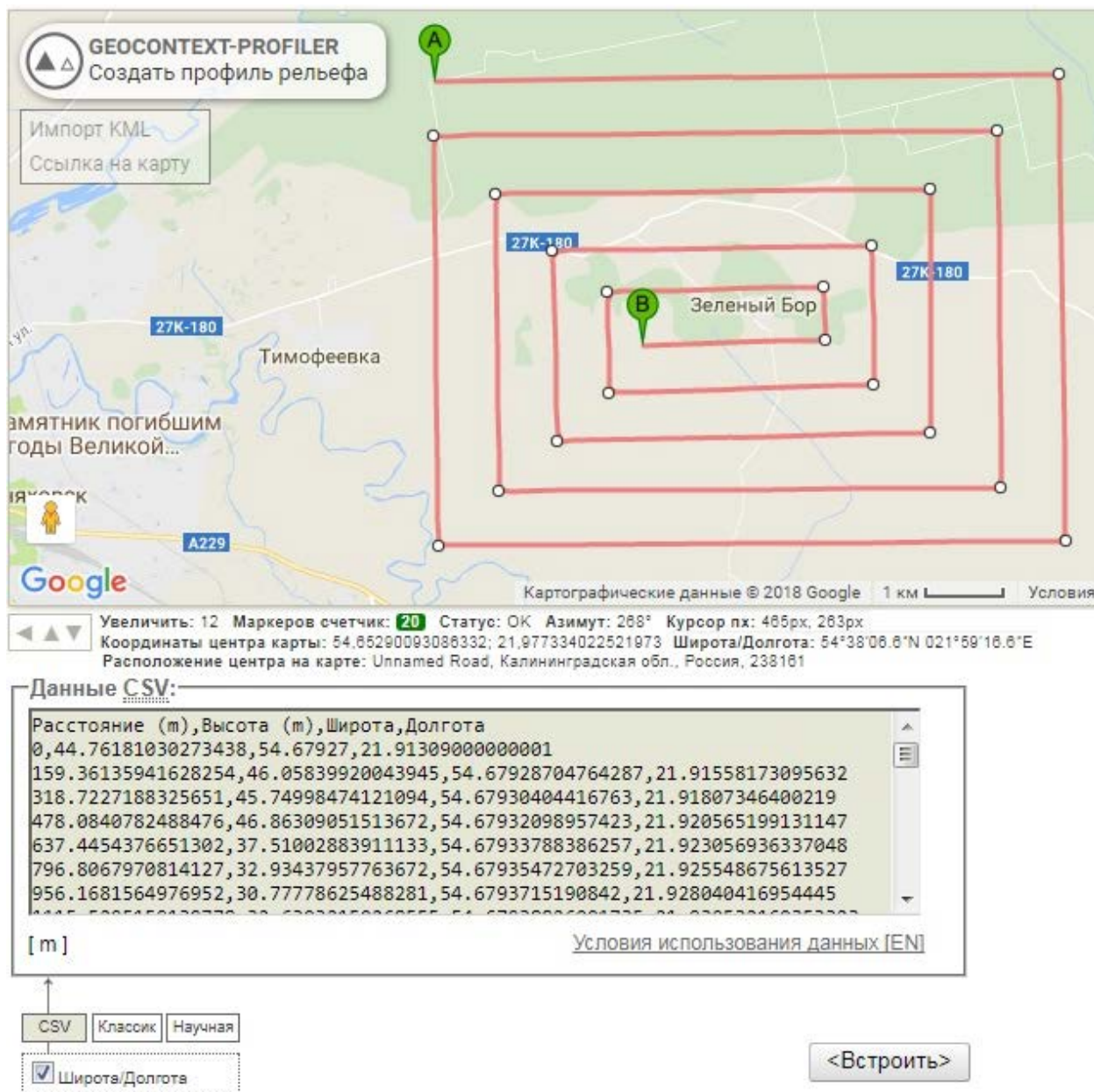


Рис. 9.2. Построение маршрута съемки уровней местности

Обработка массива данных в среде Mathcad

ORIGIN := 1

Построчное считывание данных

$W0 := \text{READPRN}("01-Top.txt")$

Количество строк

$n := \text{rows}(W0) = 512$

Индексы массивов

$j := 1..n \quad i := 1..n - 1$

Номера точек

$no_j := j$

Столбец длины пути по маршруту съемки, м

$S := W0^{<1>}$

Столбец уровня (высоты) местности, м БС

$Z := W0^{<2>}$

Столбец северной широты, град.

$N := W0^{<3>}$

Столбец восточной долготы, град.

$E := W0^{<4>}$

Сравниваем рис. 9.1 и 9.3.

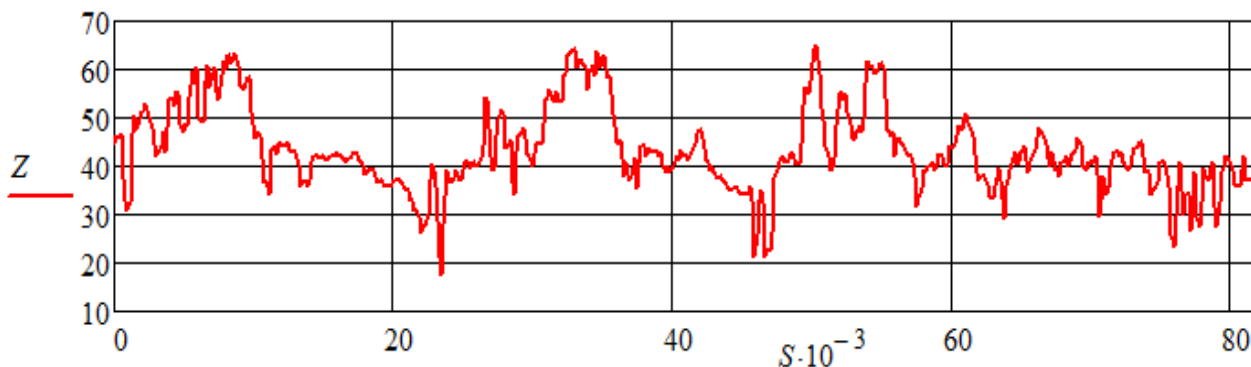


Рис. 9.3. Изменение уровня местности по маршруту съемки, полученное в среде Mathcad

Пересчет градусных координат в линейные

Наименьшее и наибольшее значение координаты

$$Nm1 := \min(N) = 54.625 \quad Nm2 := \max(N) = 54.681 \quad Em1 := \min(E) = 21.913$$

Среднее значение северной широты (в радианах):

$$Bs := 0.5 \cdot (Nm1 + Nm2) \cdot \frac{\pi}{180} = 0.954$$

Радиусы кривизны:

$$Rs := 6335552.8 + (63607.5 + 538.4 \cdot (\sin(Bs))^2) \cdot (\sin(Bs))^2 = 6.378 \cdot 10^6$$

$$Ks := 6378245 + (21345.8 + 168.1 \cdot (\sin(Bs))^2) \cdot (\sin(Bs))^2 = 6.393 \cdot 10^6$$

Переходные коэффициенты:

$$Osn := Rs \cdot \frac{\pi}{180} = 1.11319 \cdot 10^5 \quad Ose := Rs \cdot \cos(Bs) \cdot \frac{\pi}{180} = 6.45469 \cdot 10^5$$

Линейные координаты (в метрах):

$$X_j := (E_j - Em1) \cdot Ose \quad Y_j := (N_j - Nm1) \cdot Osn$$

Формирование и вывод файла данных съемки местности в заданном формате (табл. 9.1):

$$P^{<1>} := no \quad P^{<2>} := X \quad P^{<3>} := Y \quad P^{<4Z>} := Z$$

$$WRITEPRN("P.txt") := P$$

Таблица 9.1 – Формат записи данных съемки в файле P.txt

№ п/п	X, м	Y, м	Z, м
1	9.575	5991	44.76
2	170.4	5993	46.06
3	331.2	5995	45.75
4	492.1	5997	46.86
5	652.9	5999	37.51

6	813.7	6000	32.93
---	-------	------	-------

Окончание табл. 9.1

№ п/п	X, м	Y, м	Z, м
7	974.6	6002	30.78
8	1135	6004	32.65
9	1269	6006	46.50
...			
509	3184	2600	42.08
510	3023	2596	37.26
511	2862	2591	37.00
512	2702	2587	37.08

Для дальнейшей обработки массива данных потребуется AutoCAD Civil 3D, полнофункциональную учебную версию которого можно получить на официальном сайте разработчика [9].

Контрольные вопросы

1. На каком онлайн-ресурсе можно найти отметки высоты местности?
2. Как построить онлайн-график уровня местности по маршруту съемки?
3. Где найти координаты точек съемки?
4. Какие преобразования необходимо выполнить в среде Mathcad?
5. Как выполнить пересчет градусных координат в линейные?

Лабораторная работа № 10

«Построение поверхности в среде AutoCAD Civil 3D по данным съемки»

Задание

1. Создать поверхность в среде Autocad Civil 3D.
2. Загрузить данные геодезической съемки, записанные в лабораторной работе № 9 в файл P.txt.
3. Изменить стиль поверхности, обозначив сплошными и штриховыми линиями основные и вспомогательные горизонталы. Добавить высотные метки основных и вспомогательных горизонталей.
4. Сформировать чертеж АЗ поверхности по правилам ЕСКД (с оформлением углового штампа) и сохранить его в формате pdf.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями
Создание поверхности с горизонталями в среде Autocad Civil 3D

На основе данных точек создается TIN-поверхность. Для этого используется вкладка «Создание поверхности» в меню «Поверхность», как показано на рис. 10.1.

Загрузим данные геодезической съемки, записанные в лабораторной работе № 9 в файл P.txt. Если выбрана опция «По столбцам», значения в файле данных точек разделяются с помощью знаков табуляции. При импорте файла считается, что данные в файле расположены в виде столбцов и строк. Каждая строка содержит данные для одной точки, а индивидуальные значения в строке разделены знаками табуляции. При экспорте точек или переносе данных значения в файле назначения будут организованы по одной точке на строку и разделены знаками табуляции по столбцам.

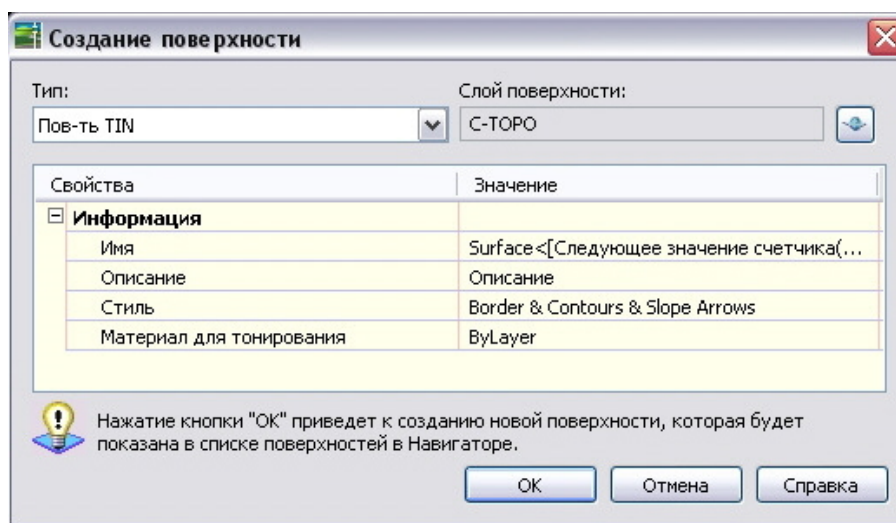


Рис. 10.1. Окно «Создание поверхности» AutoCAD Civil 3D

Например, если формат содержит столбцы с именами «Номер», «Восточное положение», «Северное положение», «Отметка», то содержимое файла данных точек может выглядеть так:

```
1002  5000.00  2010.00  102.50
1003  5001.00  2020.00  104.00
1004  5002.00  2030.00  104.50
```

Редактирование отдельных точек чертежа можно производить графически (в чертеже), используя команды AutoCAD или с помощью «Редактора точек». Для редактирования точек в окне «Панорама» необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на строке «Точки» в окне «Навигатор» (рис. 10.2).

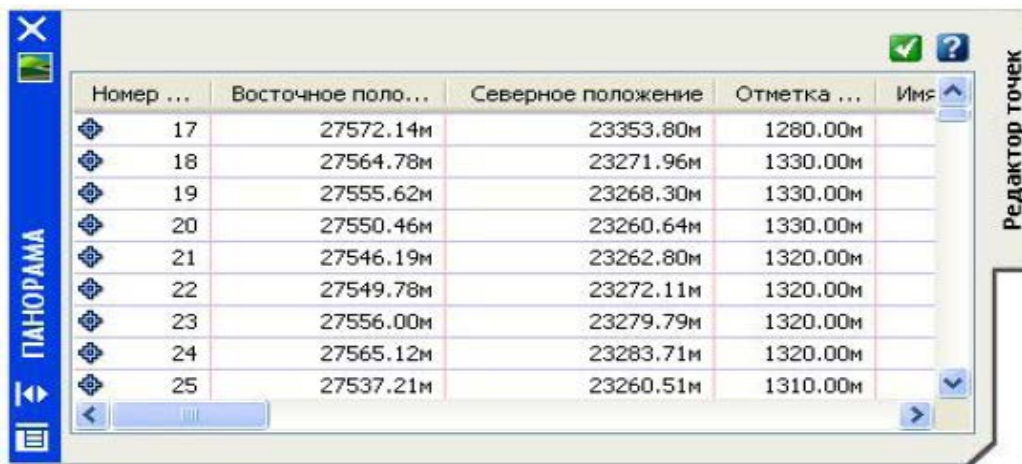


Рис. 10.2. Редактирование точек в окне «Панорама»

Для редактирования стиля поверхности воспользуемся панелью «Навигатор», щелкнув правой кнопкой мыши на строке с именем полученной TIN-поверхности и выбрав в открывшемся окне пункт «Редактировать стиль поверхности» (рис. 10.3). В данном окне выполняем отображение основных и вспомогательных горизонталей, щелкнув на изображение лампочки напротив необходимого пункта. При этом изменяем стиль и цвет горизонталей для лучшей читаемости чертежа. Установить необходимые интервалы между горизонталями. По умолчанию основной интервал – 10 м, вспомогательный – 2 м. В результате получаем горизонтали, вид которых показан на рис. 10.4.

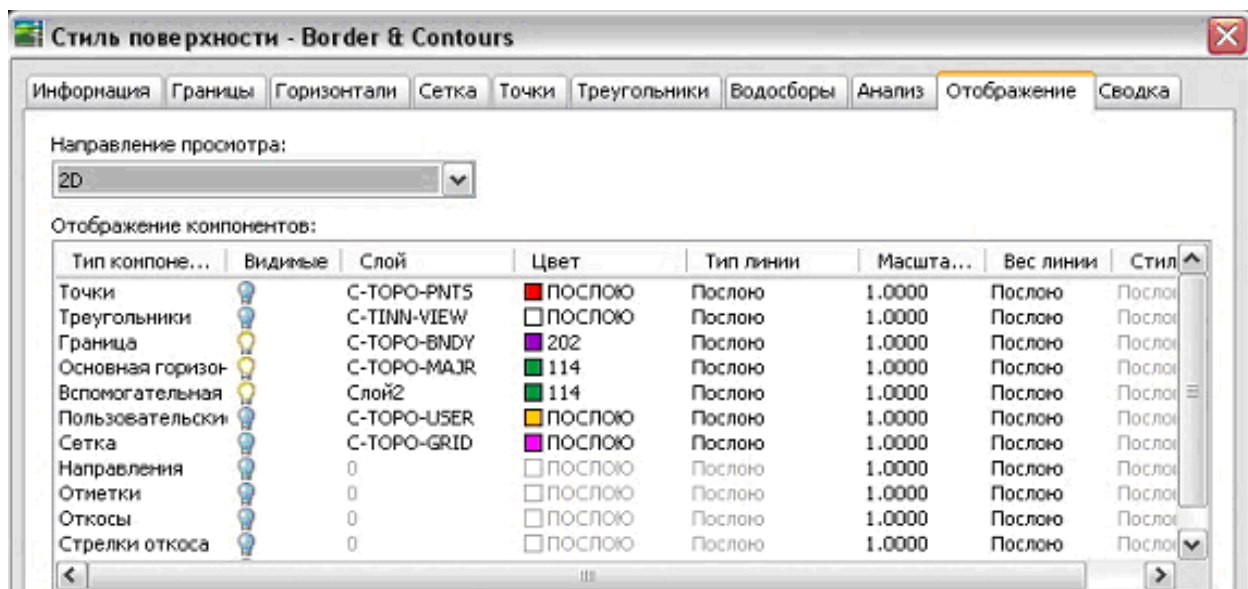


Рис. 10.3. Редактирование стиля поверхности

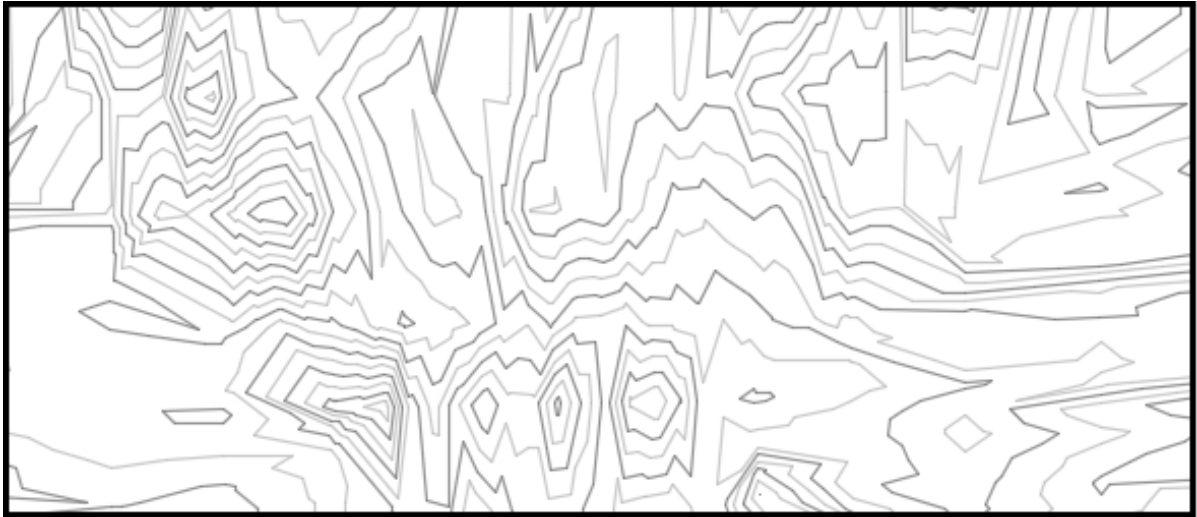


Рис. 10.4. Фрагмент поверхности с линиями уровня, построенными в AutoCAD Civil 3D

Метки горизонталей поверхности

Далее добавляем высотные метки основных и вспомогательных горизонталей. Метки создаются вдоль траектории, заданной с помощью полилинии. Этот способ создания меток поверхностей удобен в том случае, если требуется сначала разметить траекторию для меток горизонталей на поверхности, а затем создать метки. В данной работе требуется одновременно создать траекторию и метки без предварительного рисования полилинии. Выбираем пункт «Добавить метки поверхности» вкладки «Поверхности», «Горизонталь – несколько», как на рис. 10.5. Затем рисуем траекторию, указав несколько горизонталей для нанесения меток.

Вид нанесенных меток горизонталей показан на рис. 10.6. При необходимости можно изменить размер шрифта меток. Для этого нужно открыть в меню «Стили меток» – «Компонент» – «Высота текста».

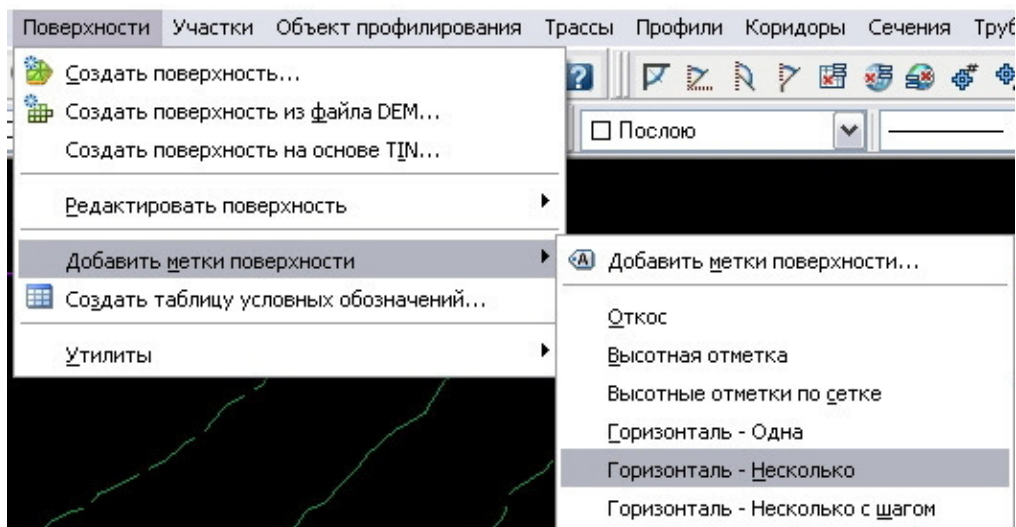


Рис. 10.5. Создание меток горизонталей

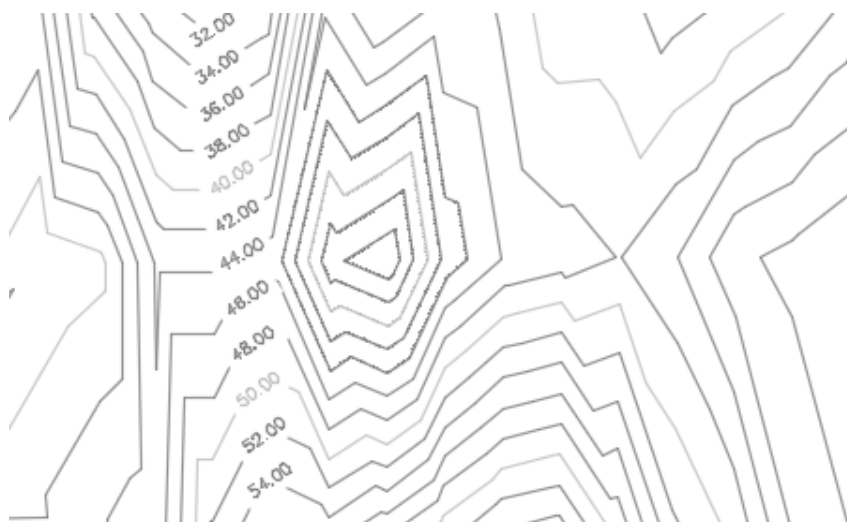


Рис. 10.6. Изображение меток горизонталей на фрагменте поверхности

Формирование чертежа

В завершение данной работы необходимо сформировать чертеж А3 поверхности по правилам ЕСКД (с оформлением углового штампа) и сохранить его в формате pdf.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается Civil 3D от базовой версии AutoCAD?
2. Как создать поверхность в среде AutoCAD Civil 3D?
3. Как загрузить данные геодезической съемки поверхности?
4. Как изменить расстояния между геодезическими линиями?
5. Как получить изображение меток горизонталей?

Лабораторная работа № 11

«Определение объемов и площади поверхностей в среде AutoCAD Civil 3D»

Задание

1. Создать поверхность в среде AutoCAD Civil 3D и загрузить данные геодезической съемки, как в лабораторной работе № 10.
2. Подготовить в среде Mathcad массив координат вспомогательной поверхности (горизонтальной плоскости) с отметкой на 4 м выше Z_{\min} . Записать его в текстовый файл 1.txt.
3. Создать в среде AutoCAD Civil 3D поверхность сравнения и загрузить в нее координаты из файла 1.txt.
4. Рассчитать в среде AutoCAD Civil 3D объем насыпи и выемки, площадь затопления при подъеме воды до уровня $(Z_{\min} + 4)$ м.
5. С учетом заданного (по варианту) коэффициента начального разрыхления грунта рассчитать необходимый объем дополнительного грунта при планировке площадки до уровня $(Z_{\min} + 4)$ м.

Пример выполнения лабораторной работы с методическими указаниями

Создание поверхности в среде Autocad Civil 3D и загрузка данных геодезической съемки выполняются, как в лабораторной работе (рис. 11.1)

Подготовим в среде Mathcad массив координат вспомогательной поверхности (горизонтальной плоскости) с отметкой на 4 м выше Z_{\min} . Запишем его в текстовый файл 1.txt.

```
ORIGIN := 1    XYZ := READPRN("P.txt")

n := rows(XYZ) n = 512    i := 1..n    cols(XYZ) = 4

Nn := XYZ(1)    X := XYZ(2)    Y := XYZ(3)    Z := XYZ(4)

Zmin := min(Z)    Zmax := max(Z)    Zo := Zmin + 4
Zmin = 17.65    Zmax = 64.99    Zo = 21.65

Z_1i := Zo    XYZ_1 := augment(Nn, X, Y, Z_1)

WRITEPRN("1.txt") := XYZ_1
```

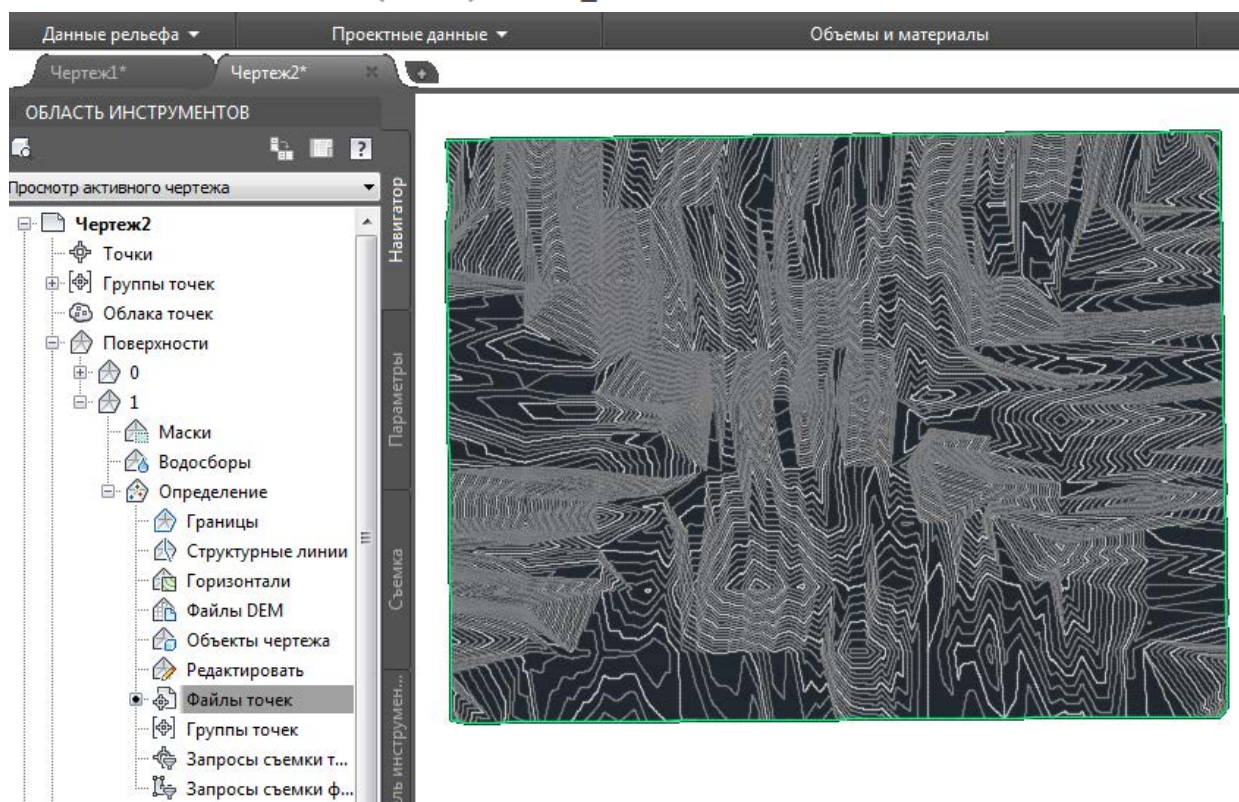


Рис. 11.1. Горизонтали основной поверхности в среде AutoCAD Civil 3D

Используя «Пульт управления объемами», создаем поверхность сравнения и загружаем в нее координаты из файла 1.txt (рис. 11.2, 11.3).

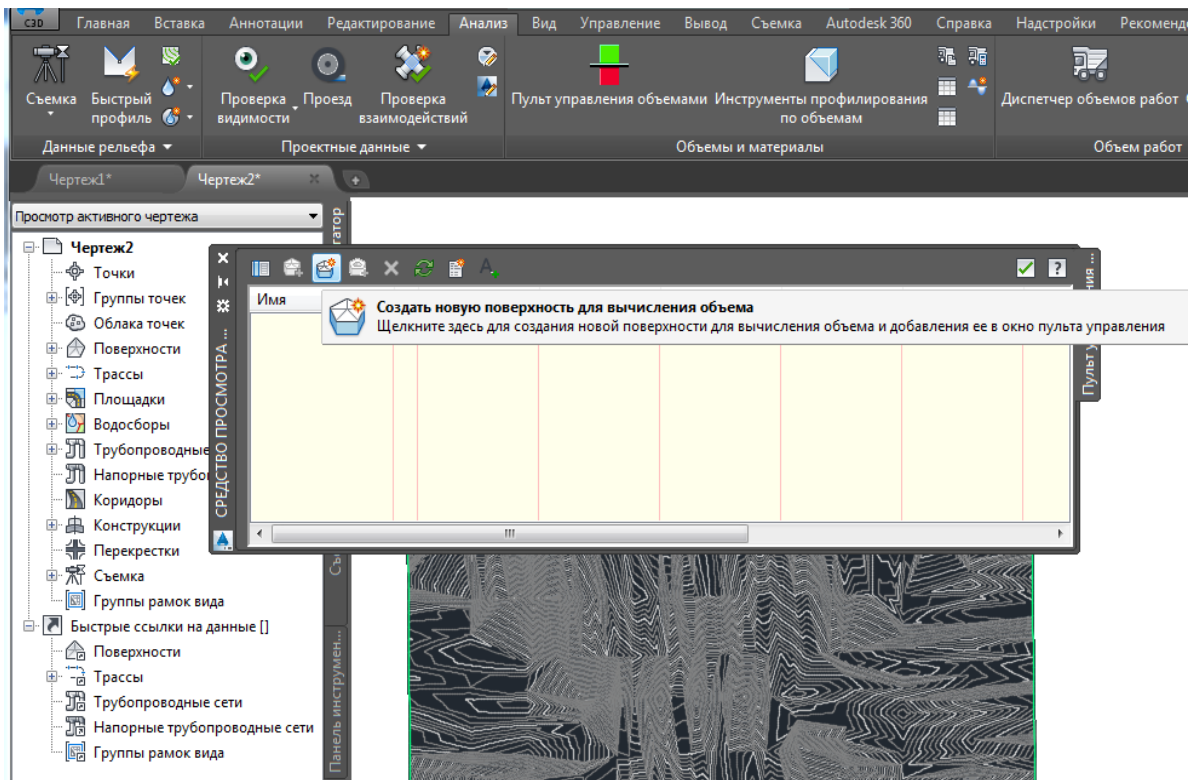


Рис. 11.2. Создание поверхности сравнения для вычисления объема

Выполняем расчет объема выемки, насыпи, разности между ними и площади поверхности (рис. 11.4). Вид отчета представлен на рис. 11.5.

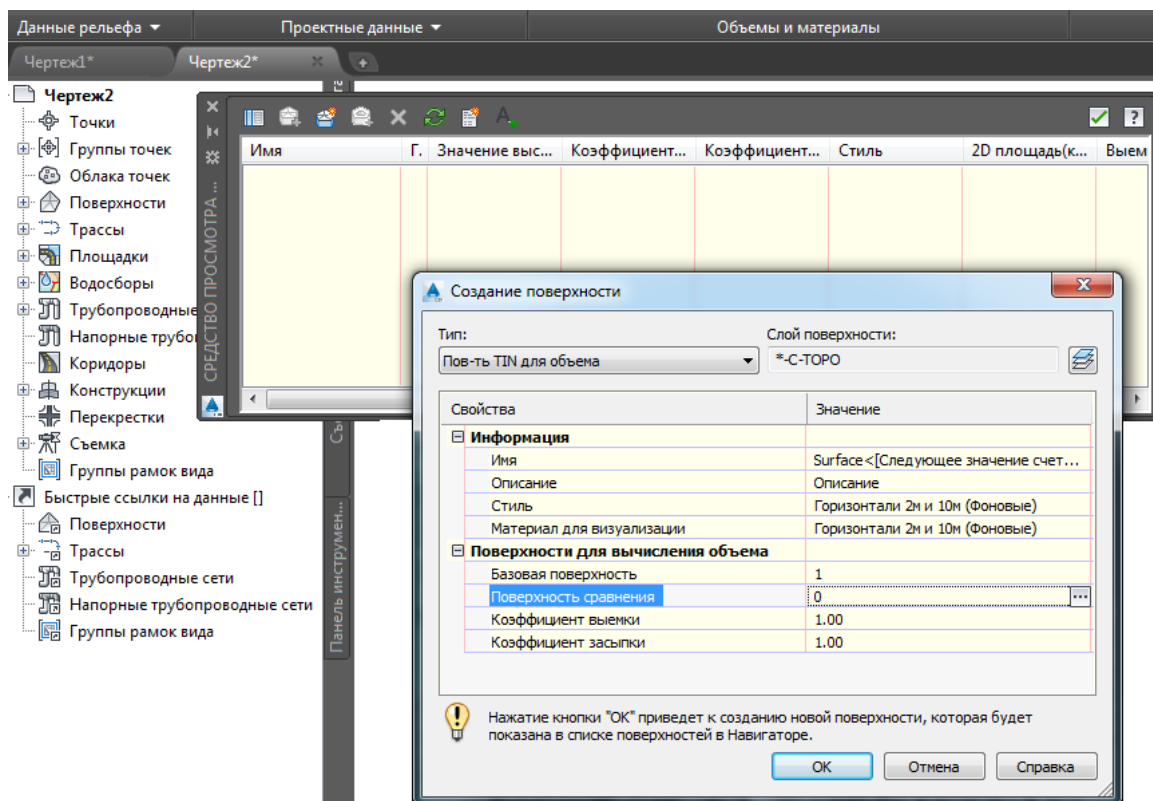


Рис. 11.3. Задание параметров

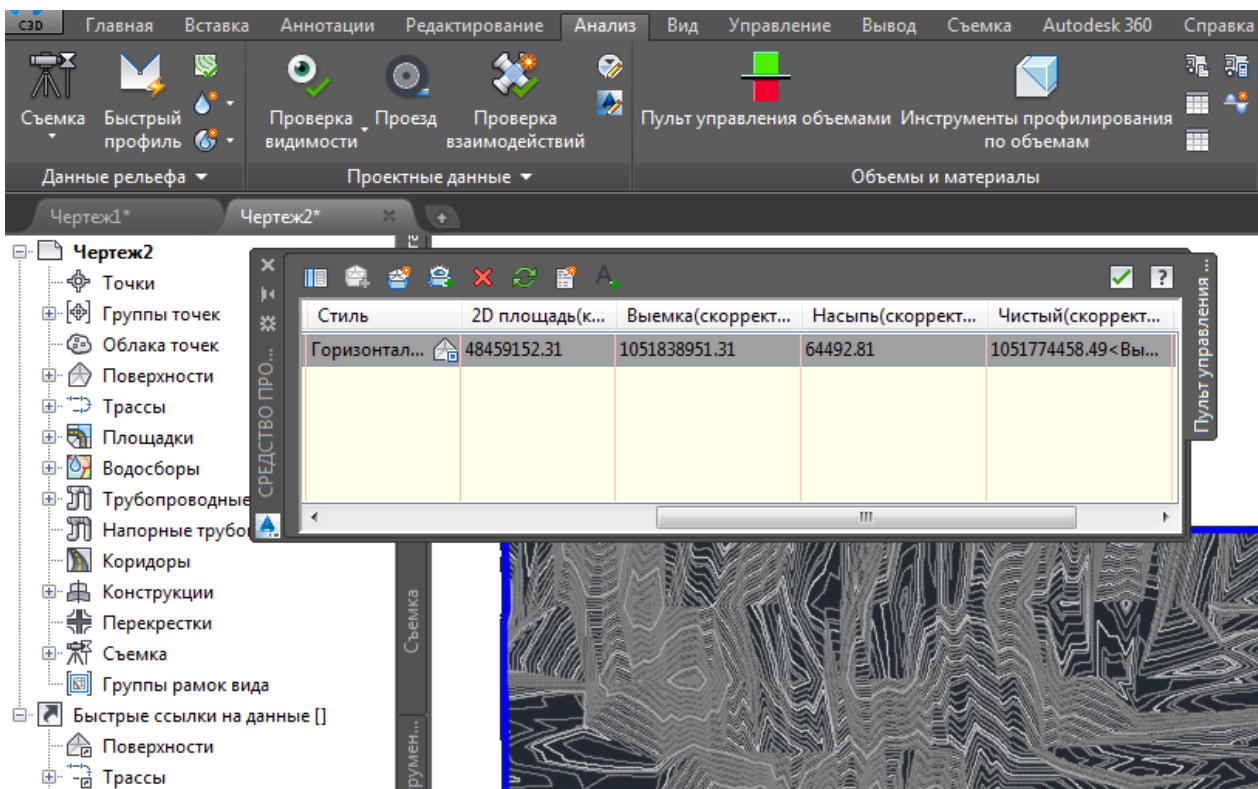


Рис. 11.4. Выполнение расчета объема

Cut/Fill Report							
Generated:	2018-03-11 17:44:21						
By user:	COMP						
Drawing:	Чертеж2.dwg						
Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (кв. м)	Cut (Куб. м)	Fill (Куб. м)	Net (Куб. м)
01	full	1.00	1.00	48459152.31	1051838951.31	64492.81	1051774458.49<Выемка>

Рис. 11.5. Вид отчета о выполнении вычисления объема

Грунт при разработке разрыхляется и увеличивается в объеме. Коэффициент разрыхления K_p представляет собой отношение объема разрыхленного грунта к объему грунта в естественном состоянии. Вариант 11 (см. приложение Г) – суглинок тяжелый, принимаем $K_p = 1,3$.

Тогда необходимый объем дополнительного грунта при планировке площадки до уровня $(Z_{\min} + 4)$ м можно рассчитать либо в среде AutoCAD Civil 3D, заменив Fill Factor на 1,3 (см. рис. 11.3), либо вручную по формуле

$$V = Cut - K_p \cdot Fill .$$

Контрольные вопросы

1. Что такое основная поверхность и поверхность сравнения?
2. Как в среде AutoCAD Civil 3D рассчитать объем?
3. Что такое коэффициент разрыхления грунта?
4. Как рассчитать в среде AutoCAD Civil 3D объем необходимого дополнительного грунта при планировке?
5. Какие в в среде AutoCAD Civil 3D есть возможности по работе с объемами?

Лабораторная работа № 12

«Разработка чертежа элементов системы водоснабжения в среде AutoCAD»

Задание

1. По согласованию с преподавателем выбрать систему водоснабжения (или ее элементы), связанную с темой ВКР.
2. Выполнить чертеж выбранной системы водоснабжения в среде AutoCAD.
3. Нанести на чертеж все необходимые размеры и подписи.
4. Сформировать чертеж по правилам ЕСКД (с оформлением углового штампа) и сохранить его в формате pdf.

Пример выполнения с методическими указаниями

Рассмотрим выполнение лабораторной работы на примере создания чертежа участков изысканий по трассе водовода. На рис. 12.1 представлена схема полной трассы водовода, а ее вид в среде AutoCAD – на рис. 12.2.



Рис. 12.1. Схема полной трассы водовода

По согласованию с преподавателем необходимо выбрать наиболее важные элементы системы водоснабжения и разработать их чертежи. В данном слу-

чае в качестве таковых укажем переходы водовода через реки. На рис. 12.3–12.5 показан порядок разработки чертежей переходов водовода через малые реки.

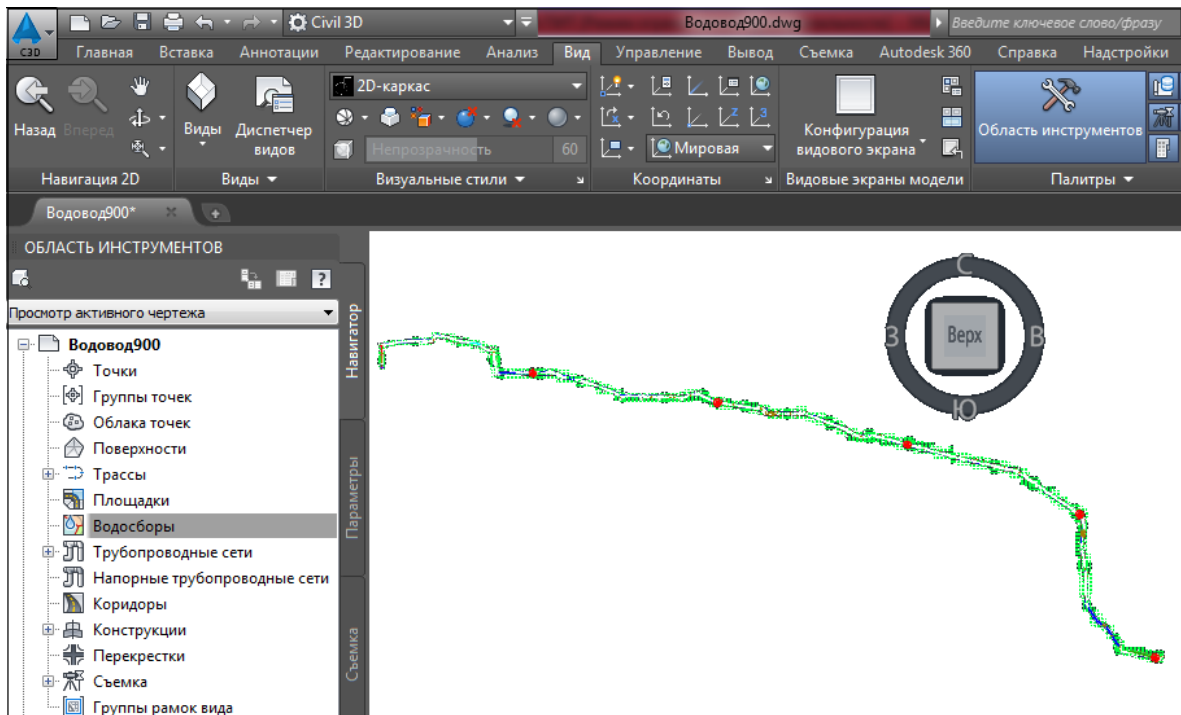


Рис. 12.2. Вид полной трассы водовода в среде AutoCAD

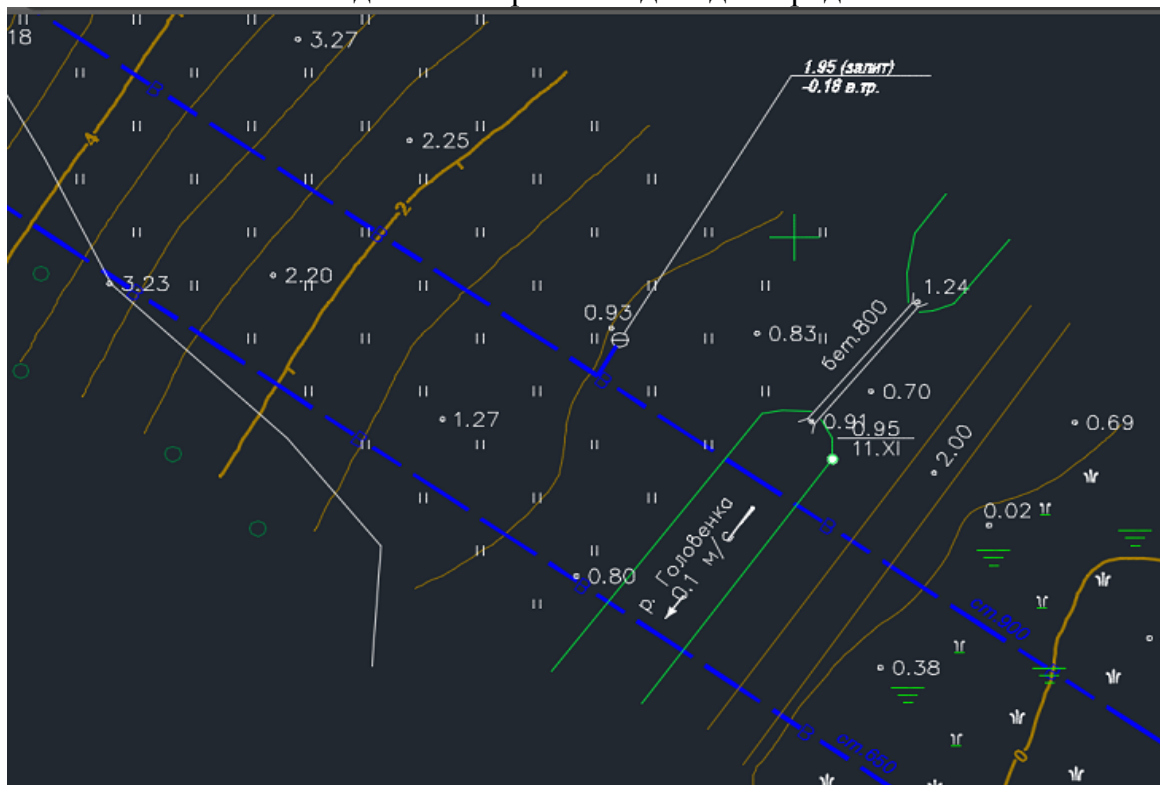


Рис. 12.3. Разработка чертежа перехода водовода через р. Головенку

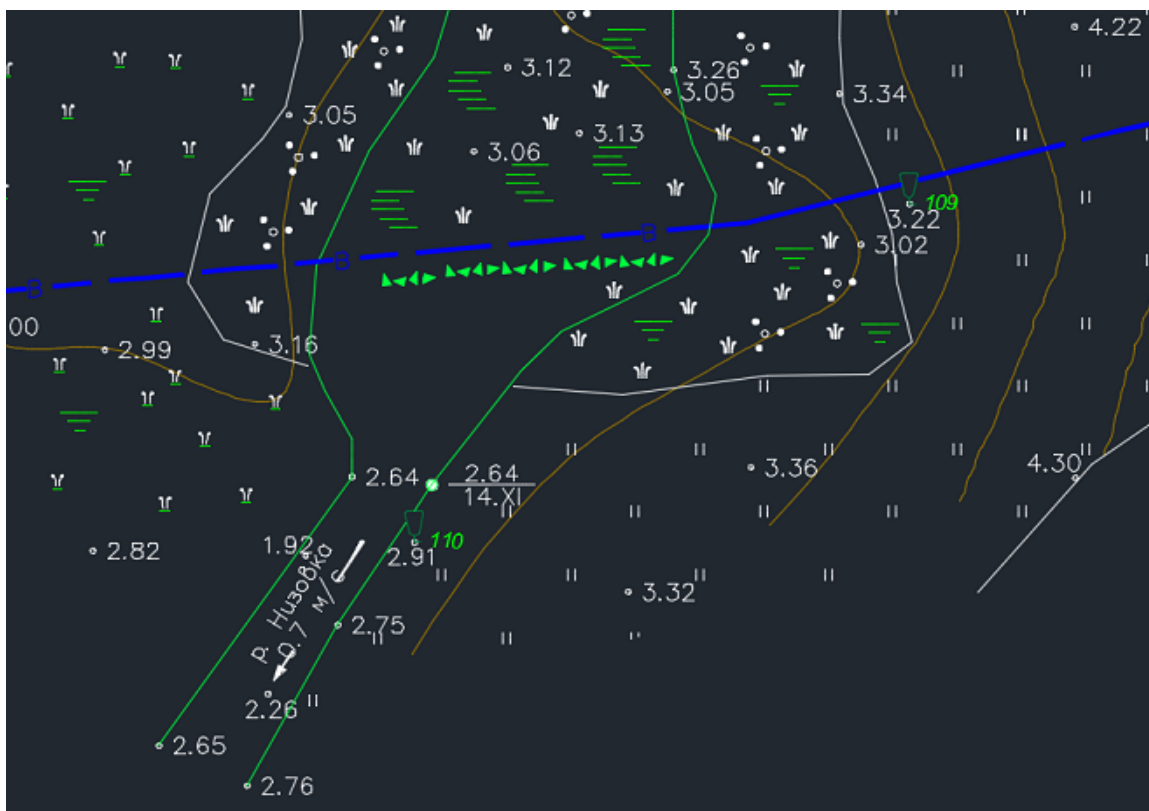


Рис. 12.4. Разработка чертежа перехода водовода через р. Низовку

После разработки чертежей в пространстве модели их необходимо оформить по правилам ЕСКД в пространстве листа и сохранить в формате pdf.

Размер каждого чертежа (А3–А4) следует согласовать с руководителем выпускной квалификационной работы (ВКР). Если тема ВКР не предусматривает подготовку чертежей элементов системы водоснабжения в среде AutoCAD, то в данной лабораторной работе разрабатываются чертежи для курсового проекта по одной из учебных дисциплин: «Проектирование систем водоснабжения», «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения», «Промышленные системы водоснабжения».

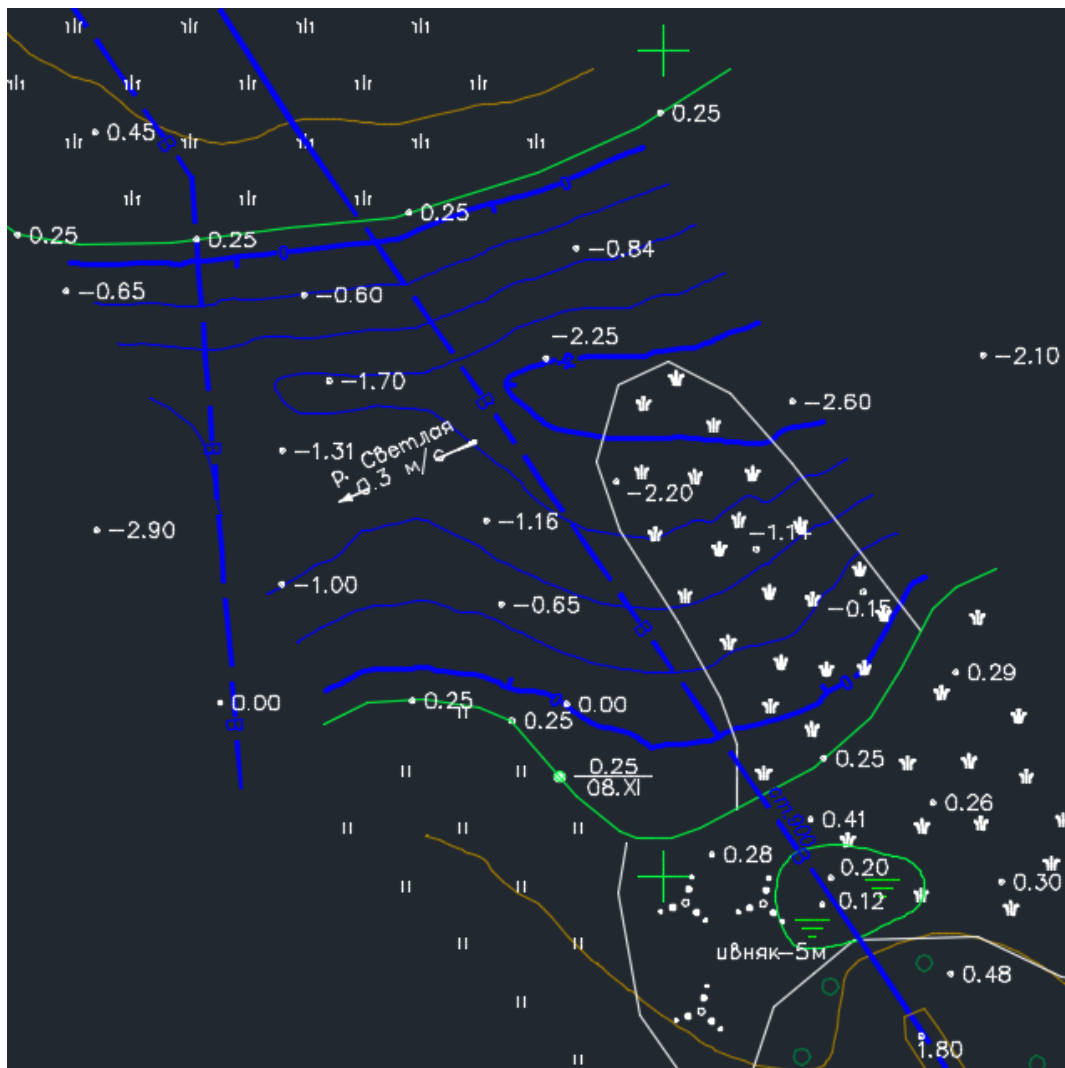


Рис. 12.5. Разработка чертежа перехода водовода через р. Светлую

Контрольные вопросы

1. Что такое пространство модели и пространство листа?
2. Назовите элементы системы водоснабжения в среде AutoCAD?
3. Как формируются проекции твердотельной модели?
4. Как формируются ортогональные проекции, разрезы и сечения твердотельной модели для рабочего чертежа?
5. Алгоритм компоновки чертежа в пространстве листа при двухмерном моделировании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нормативные документы

1. ГОСТ 7.32-2017. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24.10.2017 № 1494-ст.

2. ГОСТ 21.206-2012. Система проектной документации для строительства. Условные обозначения трубопроводов. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 № 2015-ст.

3. Свод правил СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Одобрен Постановлением Госстроя России от 16.08.2000 г. № 80.

Учебники и учебные пособия

4. Михеева, Е. В. Информационные технологии в профессиональной деятельности. Технические специальности: учебник / Е. В. Михеева, О. И. Титова. – Москва: Академия, 2014. – 416 с.

5. Федотова, Е. Л. Информационные технологии и системы: учеб. пособие / Е. Л. Федотова. – Москва: ИНФРА-М, 2012. – 352 с.

6. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации: учеб. пособие / А. В. Сикан. – Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2007. – 279 с.

Интернет-ресурсы

7. Архив погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа – свободный: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Калининграде (дата обращения: 05.01.2018).

8. Швабауэр, В. В. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / В. В. Швабауэр, И. В. Гвоздев, М. И. Горилковский // Полимерные трубы. – 2005. – № 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа – свободный: <http://journal.plastic-pipes.ru/issues/2005/1> (дата обращения 01.09.2018).

9. AutoCAD Civil 3D. [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный: <https://www.autodesk.ru/products/autocad-civil-3d/overview> (дата обращения: 10.01.2018).

10. Geocontext-Profiler [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный: <http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/ru/> (дата обращения: 10.01.2018).

11. ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации. Специализированные массивы данных для климатических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа – по паролю: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 01.01.2018).

Справочники

12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. – Вып. 6. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 255 с.

13. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. – Москва: Энергия, 1972. – 312 с.

14. Гидрологический ежегодник 1960 г. – Т. 1. – Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Вып. 5, 6. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. – 262 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица П.А.1 – Шероховатость труб из пластмасс (по данным [8])

Внутренний диаметр d, мм	Δ , мм	Δ/d
50	0,005	0,0001
100	0,01	0,0001
200	0,015	0,000075
300	0,025	0,000083
600	0,035	0,000058
1200	0,05	0,000042

Приложение Б [6]

**Средние значения параметров \bar{y} и σ_y при различном числе членов ряда n
(по Гумбелю)**

n	\bar{y}	σ_y	n	\bar{y}	σ_y
20	0,524	1,063	50	0,548	1,161
22	0,527	1,076	52	0,549	1,164
24	0,530	1,086	54	0,550	1,167
26	0,532	1,096	56	0,551	1,170
28	0,534	1,105	58	0,552	1,172
30	0,536	1,112	60	0,552	1,175
32	0,538	1,119	65	0,554	1,180
34	0,540	1,126	70	0,555	1,185
36	0,541	1,131	75	0,556	1,190
38	0,542	1,136	80	0,557	1,194
40	0,544	1,141	85	0,558	1,197
42	0,545	1,146	90	0,559	1,201
44	0,546	1,150	95	0,559	1,204
46	0,547	1,154	100	0,560	1,206
48	0,548	1,157	∞	0,577	1,282

Таблица П.В.1 – Результаты измерений характеристик р. Мамоновки (г. Мамоново) в 1960 г. [14]

Дата измерения	Уровень воды (см) над нулем графика. Основной водпост	Расход воды (м ³ /сек)	Площадь водного сечения (м ²)	Скорость течения (м/сек)		Ширина реки (м)	Глубина (м)		Уклон водной поверхности (‰)
				средняя	наибольшая		средняя	наибольшая	
6/I	78	2,18	6,23	0,35	0,51	11,4	0,55	0,95	0,88
30/I	79	2,28	6,36	0,36	0,52	11,3	0,56	0,95	0,88
23/II	62	1,34	4,97	0,27	0,43	10,6	0,47	0,81	0,72
29/II	66	1,53	5,20	0,29	0,44	11,0	0,47	0,80	0,75
7/III	65	1,24	5,05	0,25	0,46	10,7	0,47	0,84	0,80
15/III	124	5,46	11,5	0,47	0,72	13,5	0,85	1,42	1,2
22/III	174	9,48	19,5	0,49	0,80	16,0	1,22	1,91	1,7
26/III	162	8,86	17,2	0,52	0,85	15,5	1,11	1,70	1,7
30/III	145	7,25	14,1	0,51	0,80	15,2	0,93	1,50	1,6
31/III	132	6,34	12,2	0,52	0,77	14,1	0,87	1,39	1,5
1/IV	120	5,29	10,5	0,50	0,71	13,7	0,77	1,27	1,4
2/IV	100	3,96	8,25	0,48	0,63	13,2	0,63	1,10	1,3
3/IV	111	4,60	9,73	0,47	0,65	13,6	0,72	1,20	1,4
13/IV	84	2,73	6,74	0,41	0,55	12,5	0,54	0,95	0,92
16/IV	141	6,73	14,3	0,47	0,73	15,0	0,95	1,48	1,6
1/V	99	3,56	8,26	0,43	0,65	12,0	0,69	1,10	1,2
9/V	73	2,07	5,97	0,35	0,44	11,0	0,54	0,92	0,80
16/V	64	1,51	4,82	0,31	0,44	9,5	0,51	0,83	0,75
25/V	56	1,33	4,30	0,31	0,45	9,5	0,45	0,73	0,58
4/VI	53	1,35	4,06	0,33	0,41	9,0	0,45	0,74	0,52
11/VI	114	4,83	10,6	0,46	0,65	12,5	0,85	1,35	1,2
14/VI	88	3,19	7,15	0,45	0,62	11,0	0,65	1,06	1,0
29/VI	46	1,05	3,20	0,33	0,48	8,0	0,40	0,64	0,45
7/VI _I	58	1,28	4,26	0,30	0,45	9,5	0,45	0,75	0,60
13/VI _I	64	1,79	5,08	0,35	0,50	9,5	0,53	0,80	0,65
25/VI _I	88	2,99	7,28	0,41	0,64	11,0	0,66	0,99	1,0
29/VI _I	152	7,77	16,5	0,47	0,78	15,0	1,10	1,72	1,3
2/VI _{II}	88	2,96	7,03	0,42	0,64	11,8	0,60	1,05	1,0
6/VI _{II}	65	1,83	4,64	0,39	0,54	10,3	0,45	0,82	0,70
14/VI _{II}	129	5,53	11,8	0,47	0,78	13,0	0,91	1,34	1,3
15/VI _{II}	164	8,48	17,1	0,50	0,78	15,0	1,14	1,69	1,2
16/VI _{II}	136	6,13	13,0	0,47	0,78	13,5	0,96	1,41	1,3
30/VI _{II}	61	1,77	4,43	0,40	0,51	10,0	0,44	0,82	0,65
6/IX	96	3,68	7,93	0,46	0,70	11,5	0,69	1,10	1,2
14/IX	67	1,95	5,07	0,38	0,51	10,0	0,51	0,83	0,60
22/IX	48	0,86	2,68	0,32	0,49	8,0	0,34	0,53	0,60
28/IX	85	2,80	6,81	0,41	0,57	11,5	0,59	0,91	1,0
4/X	68	1,79	5,51	0,32	0,48	10,0	0,55	0,87	0,72
10/X	56	1,46	4,00	0,36	0,51	9,0	0,44	0,73	0,60
30/X	96	3,20	7,61	0,42	0,61	11,5	0,66	0,97	1,1
2/XI	123	5,23	11,2	0,47	0,68	12,5	0,90	1,32	1,2
11/XI	70	1,80	5,37	0,34	0,49	10,5	0,51	0,80	0,62
21/XI	92	3,32	7,27	0,46	0,70	11,0	0,66	1,03	1,2
23/XI	88	2,99	7,08	0,42	0,58	11,3	0,63	1,04	1,1
29/XI	116	4,52	10,4	0,43	0,70	12,0	0,87	1,31	1,2

Таблица П.Г.1 – Коэффициент разрыхления грунтов

№ п/п	Наименования грунтов	Первоначального	Остаточного
1	Глина ломовая	1,28...1,32	1,06...1,09
2	Гравийно-галечные	1,16...1,20	1,05...1,08
3	Растительный	1,20...1,25	1,03...1,04
4	Лесс мягкий	1,18...1,24	1,03...1,06
5	Лесс твердый	1,24...1,30	1,04...1,07
6	Песок	1,10...1,15	1,02...1,05
7	Скальные	1,45...1,50	1,20...1,30
8	Солончак мягкий	1,20...1,26	1,03...1,06
9	Солончак твердый	1,28...1,32	1,05...1,09
10	Суглинок легкий	1,18...1,24	1,03...1,06
11	Суглинок тяжелый	1,24...1,30	1,05...1,08
12	Супесь	1,12...1,17	1,03...1,05
13	Торф	1,24...1,30	1,08...1,10
14	Чернозем	1,22...1,28	1,05...1,07

Коэффициент начального разрыхления принимается для грунтов, пролежавших в отвале менее четырех месяцев и не подвергавшихся механическому уплотнению.

Коэффициент остаточного разрыхления принимается для грунтов, пролежавших в отвале более четырех месяцев или подвергавшихся механическому уплотнению (при объеме работ до 1000 м³). При объеме работ свыше 1000 м³ устанавливается на основании заключения полевой грунтовой лаборатории либо утверждается актом начальника участка.

Учебное издание

Владимир Аркадьевич Наумов

**ПРАКТИКУМ
ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
В ВОДОСНАБЖЕНИИ**

Редактор *Г. Е. Смирнова*
Компьютерная верстка *Е. В. Мироновой*

Подписано в печать 20.10.2019 г. Формат 60 × 90 1/16.
Уч.-изд. л. 4,0. Печ. л. 4,0. Тираж 50 экз. Заказ № 44.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
236022, Калининград, Советский проспект, 1