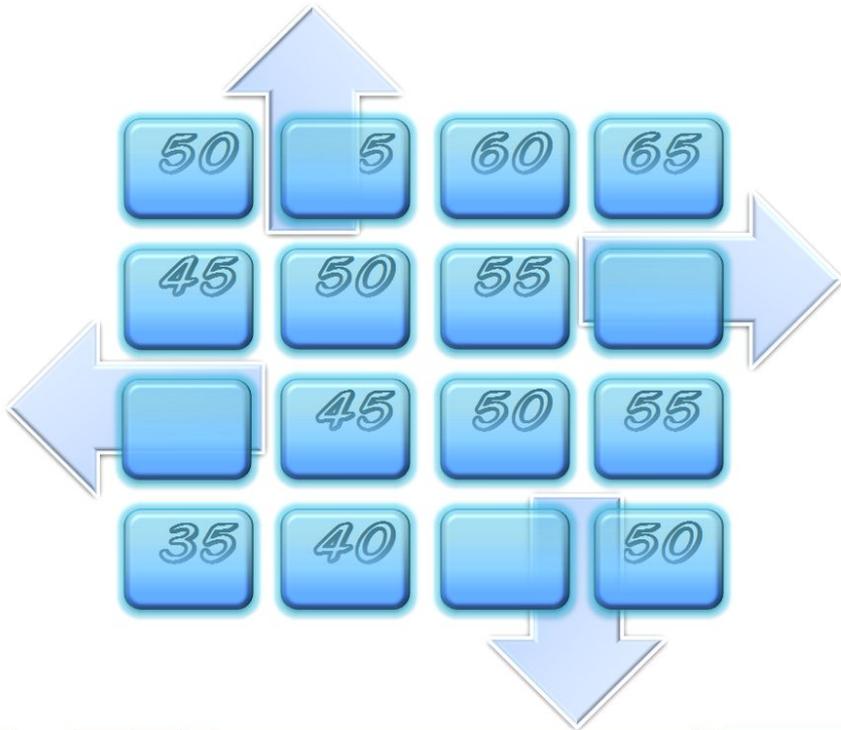


Гидродинамика флюидных систем и моделирование гидродинамических процессов



Лекция № 11
Численно-аналитическое моделирование систем взаимодействующих скважин

Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ИПР ТПУ
доцент Кузеванов К.И.

Определение фильтрационных параметров водоносных горизонтов по данным опытно-фильтрационных работ

Лабораторные методы

Полевые методы

наливы (в скважины и шурфы)

нагнетания в скважины

откачки из скважин

восстановление уровня после откачки

Площадное прослеживание уровня во время откачки – $S = f(\ln(r))$

Комбинированное прослеживание уровня во время откачки – $S = f(\ln(t/r^2))$

Временное прослеживание уровня во время откачки – $S = f(\ln(t))$

Метод Хорнера (восстановление уровня после откачки – $S^* = f(\ln((T+t)/t))$)

Задачи численно-аналитического моделирования:

Автоматизация расчета систем взаимодействующих скважин,
состоящих из большого количества отдельных выработок

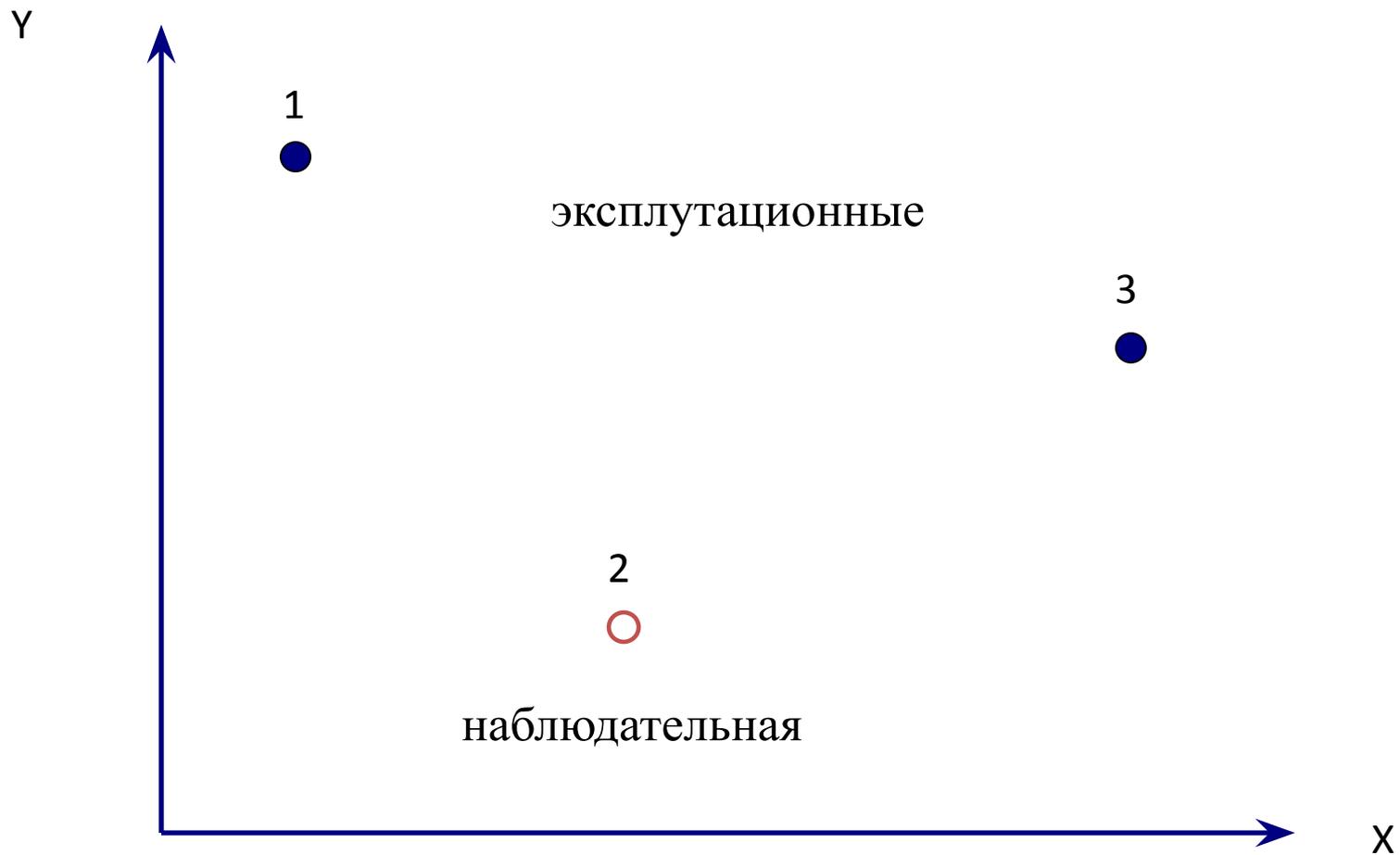
Эффективно применяется для анализа условий работы проектируемых
водозаборов с целью оптимизации параметров их размещения и
эксплуатации

В основе численно-аналитического моделирования лежит идея автоматизации расчёта понижения уровня в системе взаимодействующих скважин на основе использования доступных средств программирования.

В качестве среды программирования предлагается использовать возможности электронных таблиц *EXCEL* из состава программного комплекса *MS OFFICE*

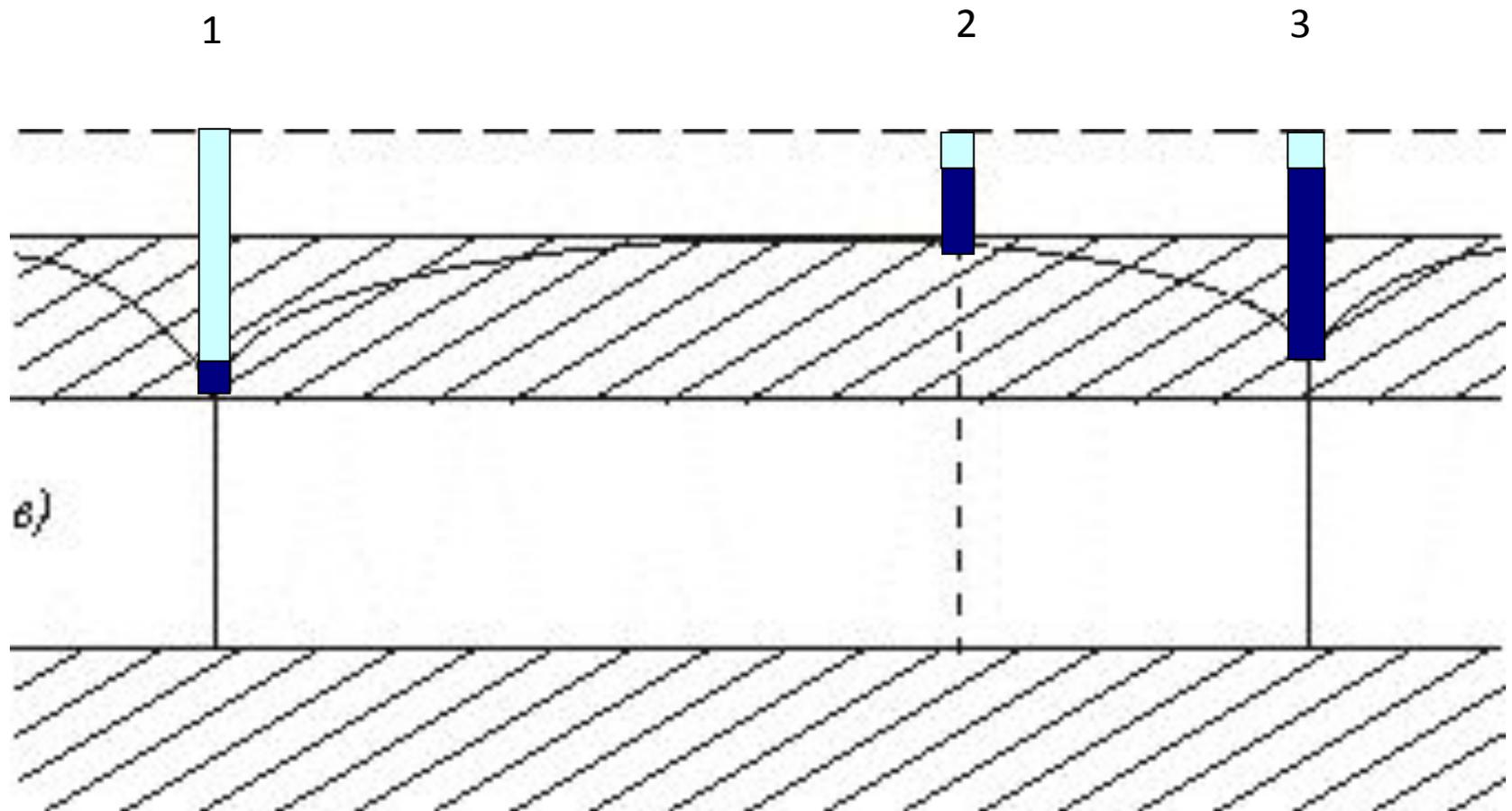
Расчёт систем взаимодействующих скважин

Схема размещения взаимодействующих скважин



Расчёт систем взаимодействующих скважин

Результат взаимодействия скважин



Расчет собственного понижения скважины №1

$$S_1^0 = \frac{Q_1}{4\pi k m} \ln \frac{2,25 a t_1}{r_{скв1}^2}$$

Радиус-вектор равен расстоянию
от оси скважины №1 до стенки ее фильтра

Система обозначения переменных, принятая при расчётах взаимодействующих скважин

S – понижение уровня

ΔS – дополнительное понижение уровня, срезка уровня

S^0 – собственное понижение уровня в центральной скважине, т.е. на нулевом расстоянии от скважины, равном радиусу фильтра скважины

Нижний индекс – показывает номер скважины к которой относится переменная

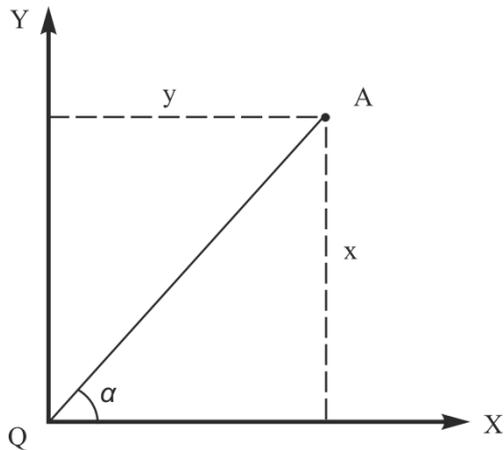
Двойной нижний индекс – первый показывает номер скважины в которой определяется срезка уровня, индекс указывает номер влияющей скважины

Расчет срезки уровня в скважине №1
от работы соседней эксплуатационной скважины №3

$$\Delta S_{1-3} = \frac{Q_3}{4\pi km} \ln \frac{2,25at_3}{r_{скв 1-3}^2}$$

Радиус-вектор равен расстоянию
от оси скважины №1 до оси соседней
эксплуатационной скважины №3

Расчет расстояний между скважинами в системе Декартовых координат.



Пространственное положение точки A , однозначно определяется в системе полярных координат длиной радиус-вектора r и углом его поворота α

$$r = \sqrt{x^2 + y^2};$$

Расстояние между точками O - A рассчитывается с использованием их координат Ox , Ax и Oy и Ay
 $x = Ax - Ox$ и $y = Ay - Oy$.

Общее решение для оценки взаимодействия двух эксплуатационных скважин

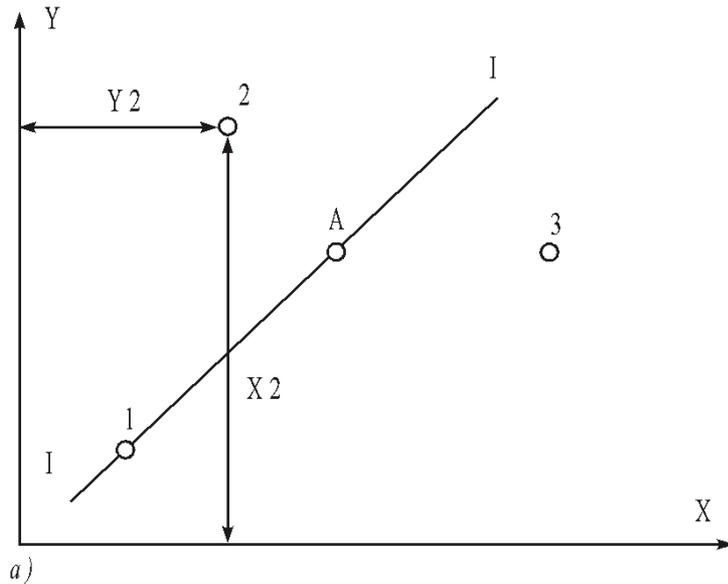
$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-3}$$

$$S_2 = \Delta S_{2-1} + \Delta S_{2-3}$$

$$S_3 = S_3^0 + \Delta S_{3-1}$$

Решение можно найти для каждой эксплуатационной скважины и произвольной точки (наблюдательной скважины)

Расчёт систем взаимодействующих скважин



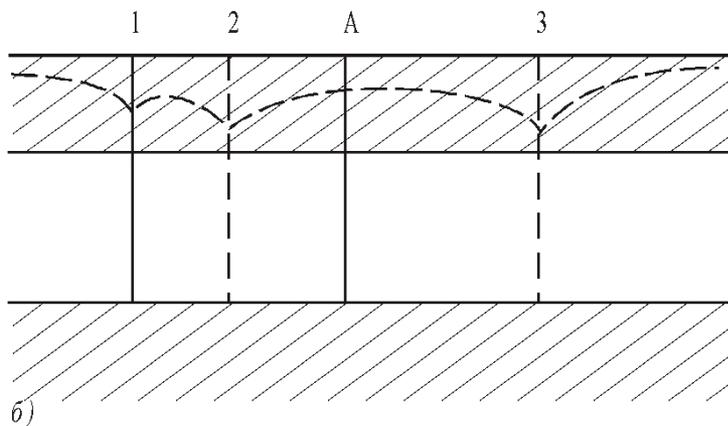
Расчёт понижения уровней
в системе трёх взаимодействующих скважин

$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-2} + \Delta S_{1-3};$$

$$S_2 = S_2^0 + \Delta S_{2-1} + \Delta S_{2-3};$$

$$S_3 = S_3^0 + \Delta S_{3-1} + \Delta S_{3-2};$$

$$S_A = \Delta S_{A-1} + \Delta S_{A-2} + \Delta S_{A-3};$$

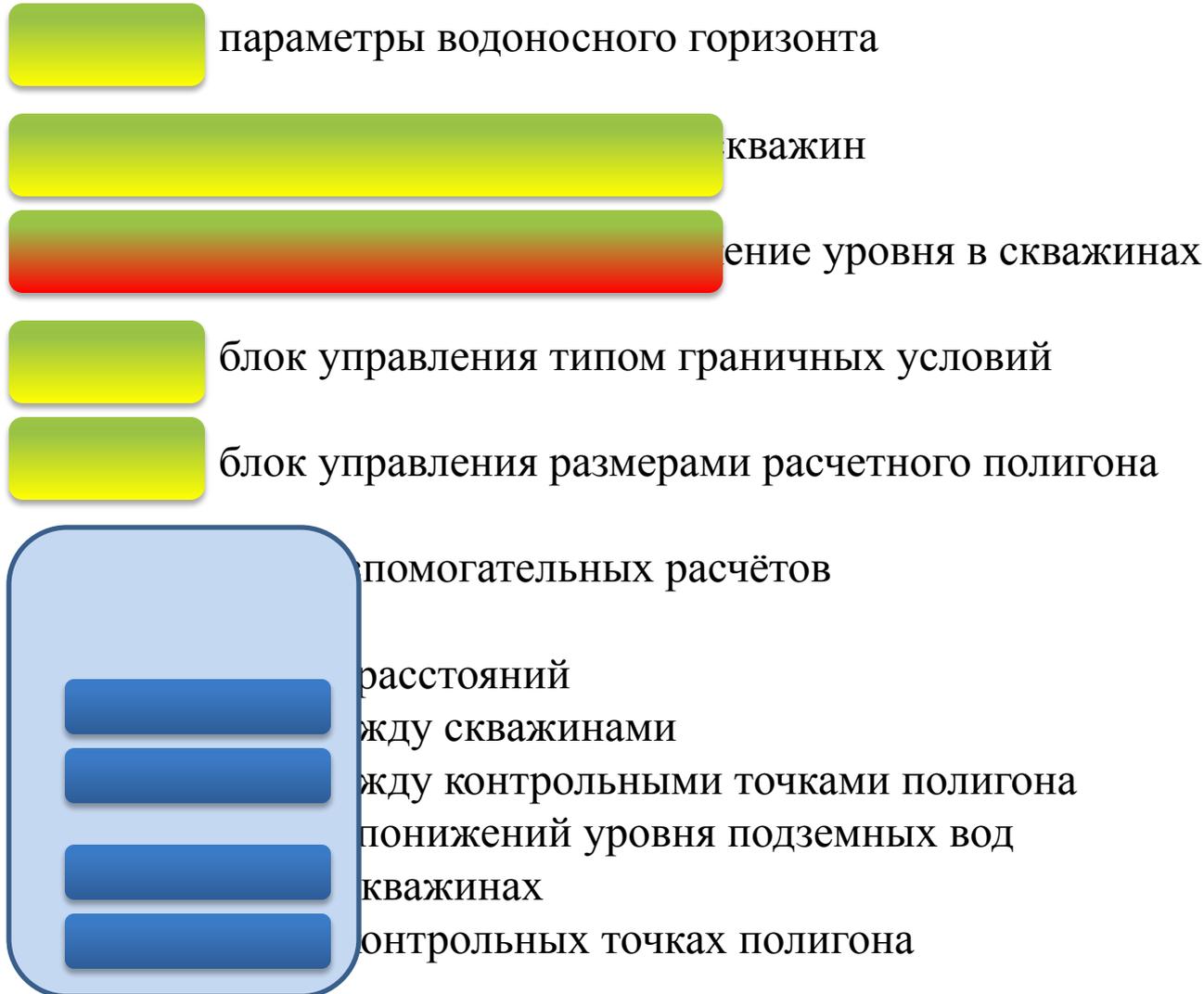


а - план расположения взаимодействующих скважин;
б - гидрогеологический разрез

В основе численно-аналитического моделирования лежит идея автоматизации расчёта понижения уровня в системе взаимодействующих скважин на основе использования доступных средств программирования.

В качестве среды программирования предлагается использовать возможности электронных таблиц ***EXCEL*** из состава программного комплекса ***MS OFFICE***

Зонирование поля рабочего листа для автоматизации расчётов:



Вид зонированного рабочего листа

SVSBVU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

E18 f_x 494

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут K_f 5
 Мощность, м 20
 Естественный напор, м 100
 Водоотдача 0.001
 Коэффициент пьезопроводности 100000
 Коэффициент водопроницаемости 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105
 Мощность, м 30
 Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001
 Коэффициент перетока 3.333E-07

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104
 Мощность, м 30
 Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001
 Коэффициент перетока 3.333E-07

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15	Скв. 16	Скв. 17	Скв. 18	Скв. 19	Скв. 20
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	200	200	200	200	200	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
Координаты, м Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502	402	302	202	102	102
Расходи, м ³ /сут	2653	600	494	465	494	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0																
Понижение	19.23	16.24	21.05	22.05	22.72	15.82	16.08	15.60	14.63	13.73	15.01	19.11	19.97	20.17	19.94	19.78	18.93	16.02	13.88	13.89

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 300
 Гидродинамический характер 0

Неограниченный пласт 0
 Полуограниченный (первого рода) -1
 Полуограниченный (второго рода) 1

Параметры наблюдательной сети

Режим управления центром (автоматический 1) (ручной 0) 1

Параметры сетки полигона

Начало координат полигона (выбор) XNV 28000 YNV 50000
 Шаг по X 500 dX
 Шаг по Y 500 dY

Геометрический центр водозаборной системы

Начало координат полигона (ЗВМ)
 XN 0 XNA -2000
 YN 0 YNA -2000

Размеры полигона

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Численно-аналитическое моделирование

Часть блока вспомогательных расчетов

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet window titled 'SVSVBU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel'. The active cell is E18, containing the value 494. The spreadsheet contains a table with columns labeled 'Скв. 1' through 'Скв. 20' and rows labeled 'Скв. 1' through 'Скв. 20'. The data represents a distance matrix between points. The diagonal elements are all 0.0. The off-diagonal elements are numerical values representing distances between points. The table is titled '*===== СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ =====*' and includes a header row: 'координаты соединены с условиями радиусами возмущающих скважин'. Below the main data table, there are summary rows labeled 'Средки' (Averages) for each column, showing the sum of values in each column and the average value. The bottom of the spreadsheet shows the 'Шаблон' (Template) bar with various sheet names like 'SURFпонижения', 'SURFнапоры', 'Уровни', 'Перетоки', 'SURFточки', and 'Лист5'. The status bar at the bottom indicates '60%' zoom and 'Готово' (Ready).

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15	Скв. 16	Скв. 17	Скв. 18	Скв. 19	Скв. 20	Σ	Сред.							
Скв. 1	0.0	2828.4	1140.2	1081.7	1029.6	943.4	1000.0	1063.0	1131.4	1204.2	1202.7	1138.8	1080.3	1028.2	1028.0	1080.0	1138.5	1202.4	1271.0	1270.7	2600.2	2088.1	1838.7						
Скв. 2	2828.4	0.0	1702.9	1780.4	1860.1	1920.9	1843.9	1769.2	1697.1	1627.9	1629.3	1704.3	1781.9	1861.5	1861.9	1782.2	1704.7	1629.7	1557.4	1557.8	2088.1	1399.8	1334.1						
Скв. 3	1140.2	1702.9	0.0	100.0	100.0	223.6	141.4	100.0	141.4	223.6	99.0	1.4	101.0	201.0	201.5	101.5	1.8	98.5	198.5	198.0	1838.7	1334.1	806.4						
Скв. 4	1081.7	1780.4	100.0	0.0	100.0	141.4	100.0	141.4	223.6	316.2	199.0	99.0	1.4	101.0	101.5	1.8	98.5	198.5	298.5	298.0	1803.0	1431.7	806.4						
Скв. 5	1029.6	1860.1	200.0	100.0	0.0	100.0	141.4	223.6	316.2	412.3	299.0	199.0	99.0	1.4	1.8	98.5	198.5	298.5	398.5	398.0	1772.2	1529.7	806.4						
Скв. 6	943.4	1920.9	223.6	141.4	100.0	0.0	100.0	200.0	300.0	400.0	315.0	222.3	140.0	99.0	99.0	139.7	221.8	314.5	410.6	410.1	1868.3	1513.2	905.7						
Скв. 7	1000.0	1843.9	141.4	100.0	141.4	100.0	0.0	100.0	200.0	300.0	222.3	140.0	99.0	141.4	141.8	99.0	139.7	221.8	314.5	314.0	1897.6	1414.2	905.7						
Скв. 8	1063.0	1769.2	100.0	141.4	223.6	200.0	100.0	0.0	100.0	200.0	140.0	99.0	141.4	224.1	224.5	141.8	99.0	139.7	221.8	221.4	1931.5	1315.3	905.7						
Скв. 9	1131.4	1697.1	141.4	223.6	316.2	300.0	200.0	100.0	0.0	100.0	99.0	141.4	224.1	316.9	317.3	224.5	141.8	99.0	139.7	139.3	1970.0	1216.5	905.7						
Скв. 10	1204.2	1627.9	223.6	316.2	412.3	400.0	300.0	200.0	100.0	0.0	141.4	224.1	316.9	413.0	413.5	317.3	224.5	141.8	99.0	99.0	2012.6	1118.0	948.9						
Скв. 11	1202.7	1629.3	99.0	199.0	299.0	315.0	222.3	140.0	99.0	141.4	0.0	100.0	200.0	300.0	300.5	200.5	100.5	0.5	99.5	99.0	1879.5	1237.6	807.3						
Скв. 12	1138.8	1704.3	1.4	99.0	199.0	222.3	140.0	99.0	141.4	224.1	100.0	0.0	100.0	200.0	200.5	100.5	0.5	99.5	199.0	199.0	1839.2	1334.9	807.3						
Скв. 13	1080.3	1781.9	101.0	1.4	99.0	140.0	99.0	141.4	224.1	316.9	200.0	100.0	0.0	100.0	100.5	0.5	99.5	199.5	299.5	299.0	1803.6	1432.5	807.5						
Скв. 14	1028.2	1861.5	201.0	101.0	1.4	99.0	141.4	224.1	316.9	413.0	300.0	200.0	100.0	0.0	0.5	99.5	199.5	299.5	399.5	399.0	1772.9	1530.5	807.5						
Скв. 15	1028.0	1861.9	201.5	101.5	1.8	99.0	141.8	224.5	317.3	413.5	300.5	200.5	100.5	0.5	0.1	100.0	200.0	300.0	400.0	399.5	1772.7	1530.9	807.6						
Скв. 16	1080.0	1782.2	101.5	1.8	98.5	139.7	99.0	141.8	224.5	317.3	200.5	100.5	0.5	99.5	100.0	0.1	100.0	200.0	300.0	299.5	1803.4	1433.0	807.6						
Скв. 17	1138.5	1704.7	1.8	98.5	198.5	221.8	139.7	99.0	141.8	224.5	100.5	0.5	99.5	199.5	200.0	100.0	0.1	100.0	199.5	1839.0	1335.4	801.2	807.2						
Скв. 18	1202.4	1629.7	98.5	198.5	298.5	314.5	221.8	139.7	99.0	141.8	0.5	99.5	199.5	299.5	300.0	200.0	100.0	0.1	100.0	99.5	1879.3	1238.1	807.2	825.4					
Скв. 19	1271.0	1557.4	198.5	298.5	398.5	410.6	314.5	221.8	139.7	99.0	99.5	199.5	299.5	399.5	400.0	300.0	200.0	100.0	0.1	0.5	1923.9	1141.3	825.4	855.0					
Скв. 20	1270.7	1557.8	198.0	298.0	398.0	410.1	314.0	221.4	139.3	99.0	99.0	199.0	299.0	399.0	399.5	299.5	199.5	99.5	0.5	0.1	1923.7	1141.8	825.3	854.8					
Средки		11.3812	1.311683	1.90706	2.06742	2.55818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.67348	1.55027	1.553417	1.66571					
		1.59314	9.3705416	1.61017	1.67559	1.99334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.88292	1.86471	1.790806	1.84697				
		2.46073	1.7105866	8.82045	3.93949	4.1229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.00441	1.90249	2.169105	2.29829				
		2.51103	1.6755914	3.70822	9.37054	4.7848	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.02313	1.84697	2.163371	2.30438			
		2.55818	1.6411794	3.19525	3.93949	11.3812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.03967	1.79495	2.146683	2.29829		
		2.64164	1.6158795	3.11267	3.667	4.7848	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.98911	1.80344	2.064129	2.20698	
		2.586	1.6480562	3.45173	3.93949	4.45385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9743	1.85667	2.077419	2.2118
		2.52764	1.6805833	3.70822	3.667	4.01635	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95737	1.91368	2.081958	2.20698
		2.46813	1.7133071	3.45173	3.3068	3.6854	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.93855	1.97504	2.077419	2.19286
		2.40859	1.7460261	3.11267	3.03431	3.43204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.91807	2.04144	2.064129	2.1704
		2.40971	1.745344	3.71562	3.39845	3.73859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.98344	1.98163	2.162574	2.27987
		2.4619	1.7099382	8.85988	3.94735	4.12767	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.00413	1.90205	2.16818	2.29744
		2.51226	1.6749715	3.70082	7.26771	4.79435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.02281	1.84655	2.162347	2.3034
		2.55944	1.6405889	3.19155	3.93163	8.85146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0392	1.79455	2.145596	2.2972
		2.55966	1.6404186	3.18971	3.92774	8.81965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.03928	1.7943	2.145486	2.29714
		2.5125	1.6747981	3.69717	7.09685	4.79919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0229	1.84628	2.162289	2.3034
		2.46216	1.7097601	6.88023	3.95133	4.13007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.00422	1.90176	2.168179	2.2975
		2.40997	1.7451662	3.71937	3.40043	3.74049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.98354	1.96122	2.16263	2.27988
		2.35698	1.7808247	3.20081	3.07967	3.46458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.96114	2.02522	2.146137	2.2523

Расчет расстояний между скважинами и контрольными точками полигона

SVSBVU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

I54 f_x =КОРЕНЬ((D\$51-I51)*(D\$51-I51)+(D\$52-I52)*(D\$52-I52))

A B C D E F G H I J K L M N O P

47

48 *----- СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ -----*

49

SVSBVU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

G112 f_x =КОРЕНЬ((G\$51-\$A112)*(G\$51-\$A112)+(G\$52-\$B112)*(G\$52-\$B112))

A B C D E F G H I J K L M N O

97

98

99 X Y

100	-2000	-2000	PT 11	4460.0	1640.3	3324.3	3394.3	3465.7	3535.7	3465.7	3397.2	3330.3	3265.1	3257.3	3325.7
101	-2000	-1500	PT 12	4140.2	1393.0	3000.1	3061.2	3124.2	3201.7	3140.2	3080.7	3023.4	2968.3	2942.6	3001.5

Расчет понижения уровня подземных вод

SVSBVU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

=ЕСЛИ((F\$18/(4*ПИ()*Kf*m))*LN((2.25*a*(F\$20+Tr))/(F101*F101))>0;(F\$18/(4*ПИ()*Kf*m))*LN((2.25*a*(F\$20+Tr))/(F101*F101));0)

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
341.5	1252.9	1166.1	1117.9	1208.2	1299.9	1392.7	1486.5	1430.3	1340.2	1251.5	1164.7	1164.3	1251.1	1339.7	1429.9	1521.3	1520.8

SVSBVU11 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

=ЕСЛИ((F\$18/(4*ПИ()*Kf*m))*LN((2.25*a*(F\$20+Tr))/(F101*F101))>0;(I

Результаты расчета

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

I33

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут 5 Kf
 Мощность, м 20 m
 Естественный напор, м 100 He
 Водоотдача 0.001 mu
 Коэффициент пьезопроводности 100000 a
 Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105 Hpv
 Мощность, м 30
 Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001
 Коэффициент перетока 3.333E-07 Kpv

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104 Hpn
 Мощность, м 30
 Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001
 Коэффициент перетока 3.333E-07 Kpn

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500
Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301
Расходы, м ³ /сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы												
Понижение	6.27	5.09	16.91	17.46	16.91	9.15	9.26	9.15	8.88	8.51	8.36	8.54

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 300
 Гидродинамический характер 0
 Неограниченный пласт 0
 Полуограниченный (первого рода) -1
 Полуограниченный (второго рода) 1

Параметры наблюдательной сети

Режим управления центром (автоматический 1) (ручной 0) 0 uc

Начало координат полигона (выбор) Параметры сетки полигона

XNV 0 Шаг по X 100 dX
 YNV 0 Шаг по Y 100 dY

Геометрический центр водозаборной системы Начало координат полигона (ЭВМ)

	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5
100	100	100	100
300	400	500	500
500	500	500	500
0.1	0.1	0.1	0.1
1000	1000	1000	1000
		0	
16.91	17.46	16.91	

Готово

Схема расположения скважин

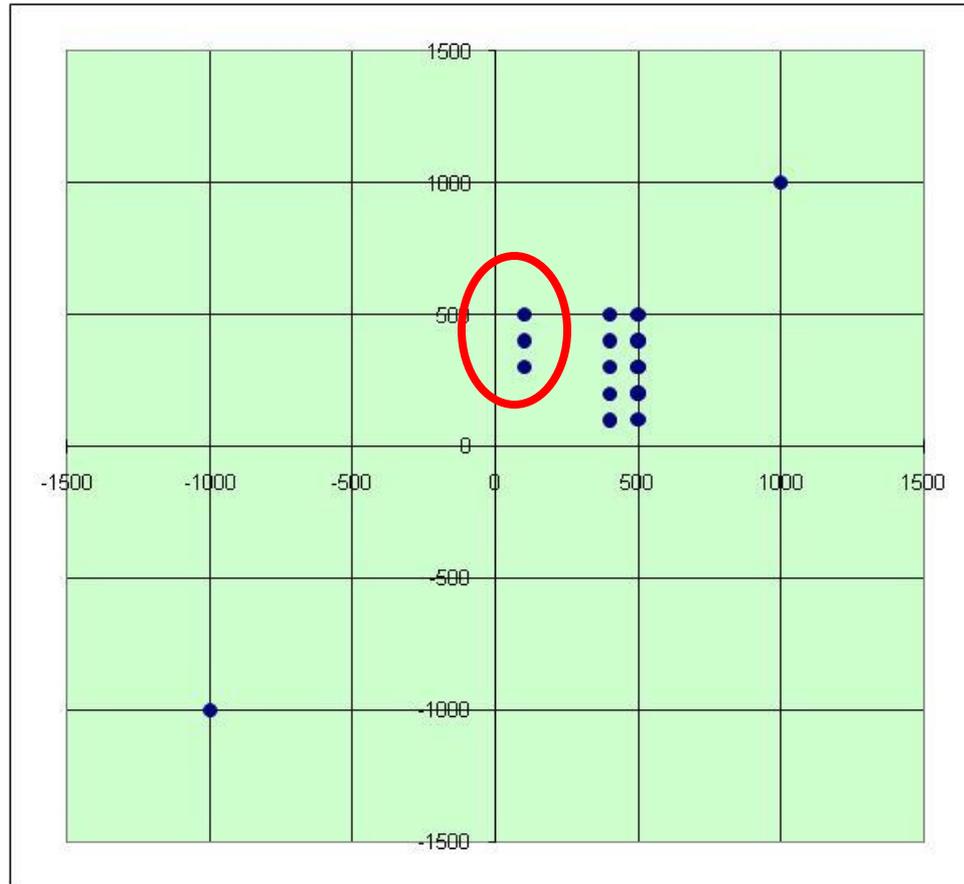
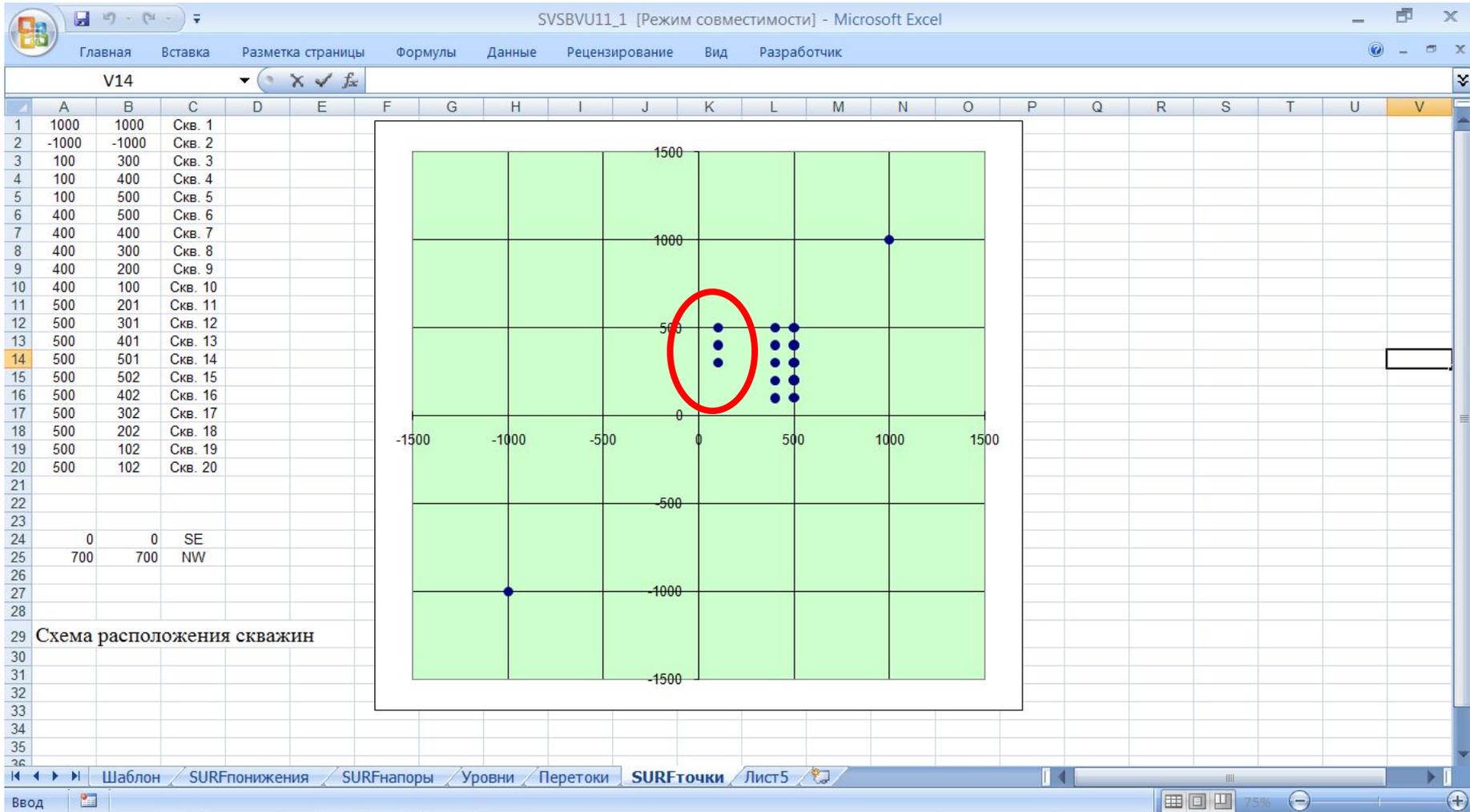


Схема расположения скважин

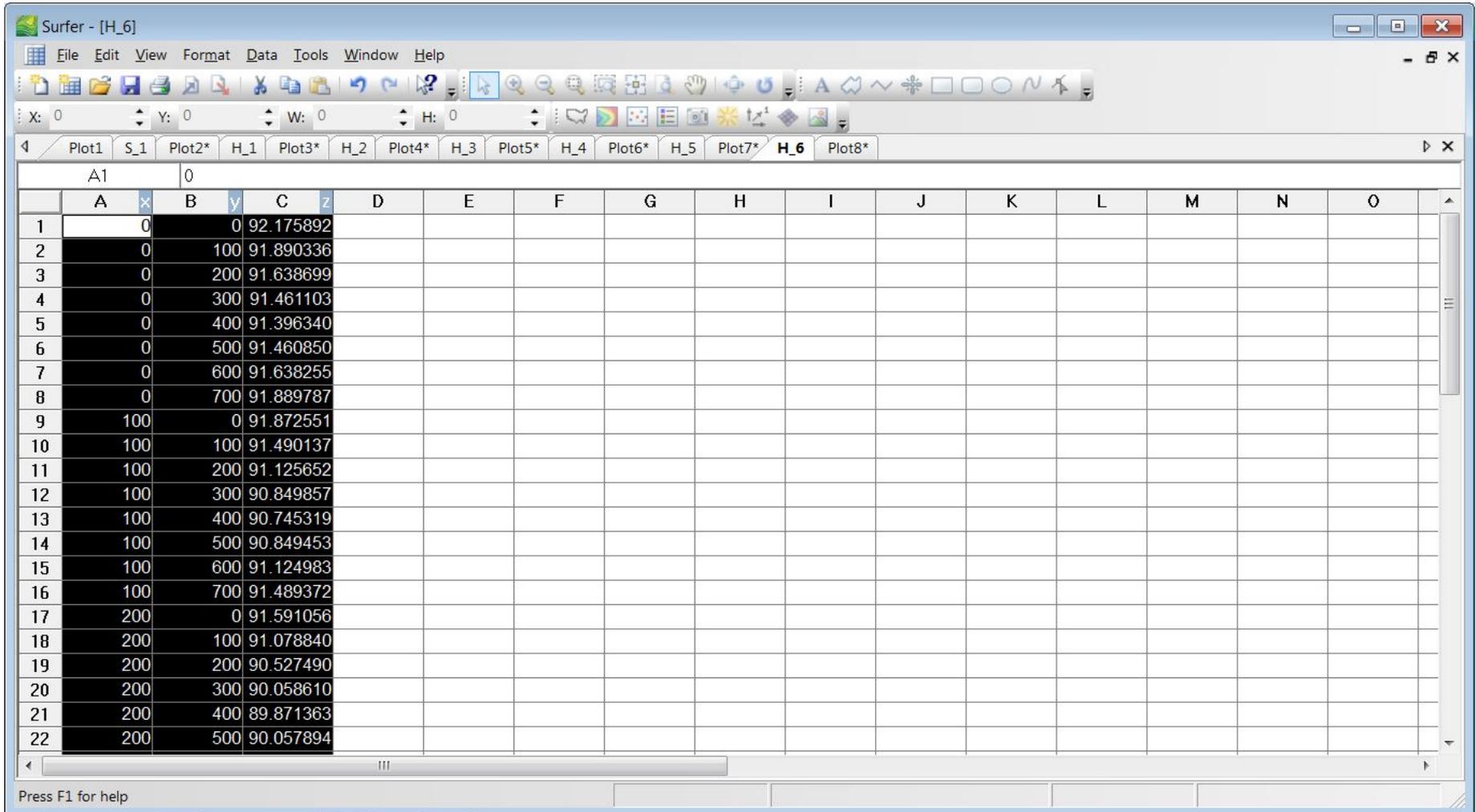


Содержание расчетного листа «SURF напоры»

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel'. The active cell is C64, containing the formula '=He-D64'. The spreadsheet displays data for 'SURF напоры' across columns A to P and rows 1 to 65. The data is organized into a table with columns A through P. The first row (row 1) shows values 0, 0, 92.17589, and 7.824108. The subsequent rows (rows 40-64) show values for columns A, B, C, and D, with column E being empty. The bottom status bar indicates 'Среднее: 263.4439521', 'Количество: 192', and 'Сумма: 50581.23879'.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0	0	92.17589	7.824108												
40	400	700	90.56614	9.433858												
41	500	0	91.37824	8.621764												
42	500	100	90.72229	9.277707												
43	500	200	89.87065	10.12935												
44	500	300	88.95352	11.04648												
45	500	400	88.58799	11.41201												
46	500	500	88.95209	11.04791												
47	500	600	89.86874	10.13126												
48	500	700	90.7208	9.279196												
49	600	0	91.59054	8.409458												
50	600	100	91.07804	8.921961												
51	600	200	90.52621	9.473789												
52	600	300	90.05678	9.94322												
53	600	400	89.86929	10.13071												
54	600	500	90.05606	9.943937												
55	600	600	90.52513	9.474873												
56	600	700	91.07695	8.923045												
57	700	0	91.87195	8.128045												
58	700	100	91.48931	8.510687												
59	700	200	91.12454	8.875458												
60	700	300	90.84848	9.151518												
61	700	400	90.74383	9.256166												
62	700	500	90.84808	9.151922												
63	700	600	91.12387	8.876128												
64	700	700	91.48855	8.511452												
65																

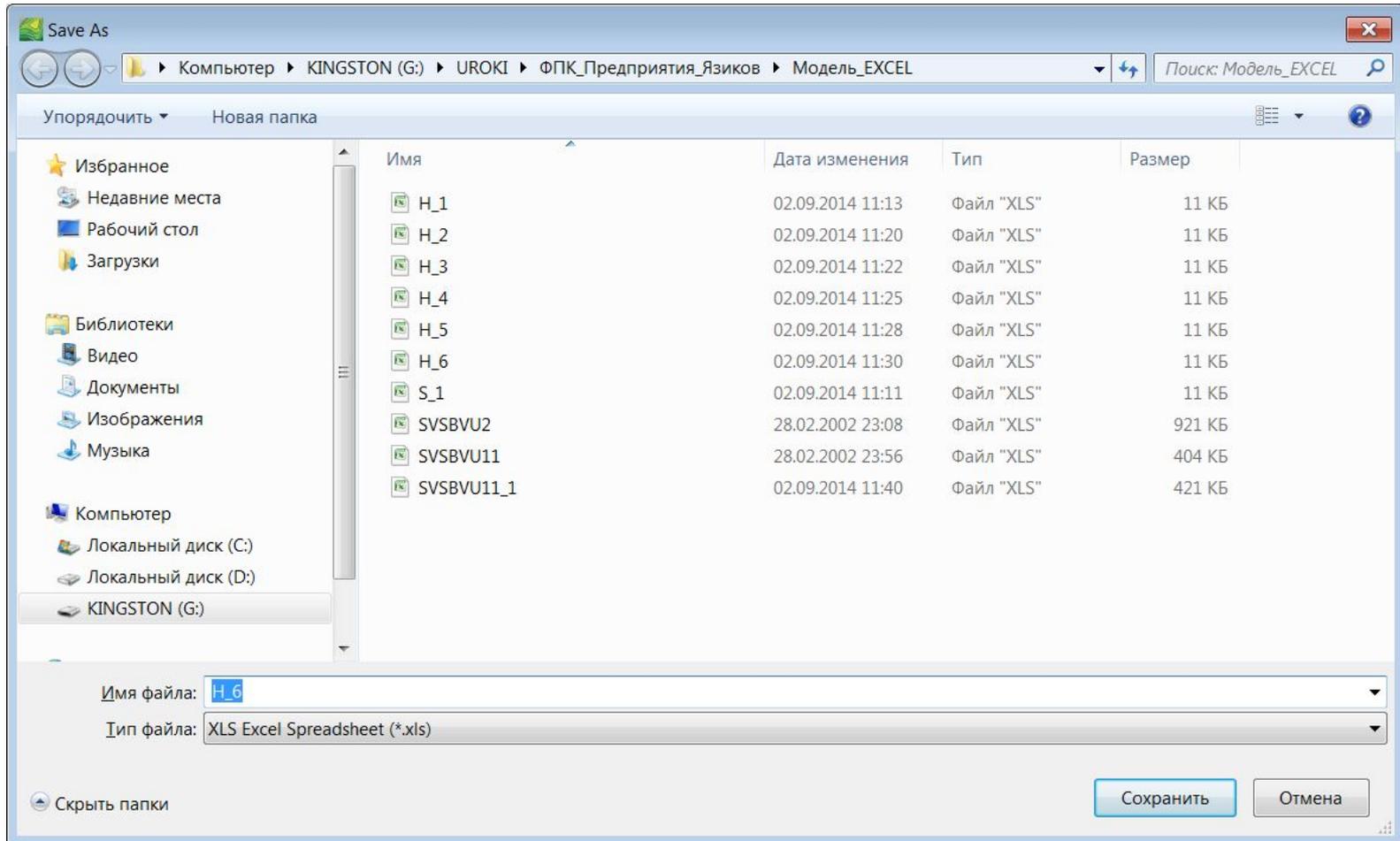
Рабочий лист ПК SURFER (копия фрагмента рабочего листа EXCEL «SURF напоры»)



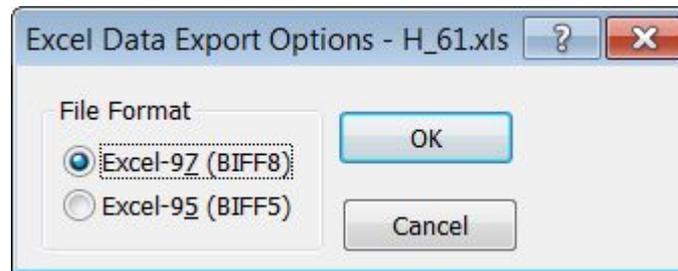
The screenshot shows the SURFER software interface with a data table. The table has columns labeled x, y, z and rows numbered 1 to 22. The data is as follows:

	x	y	z	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0	0	92.175892												
2	0	100	91.890336												
3	0	200	91.638699												
4	0	300	91.461103												
5	0	400	91.396340												
6	0	500	91.460850												
7	0	600	91.638255												
8	0	700	91.889787												
9	100	0	91.872551												
10	100	100	91.490137												
11	100	200	91.125652												
12	100	300	90.849857												
13	100	400	90.745319												
14	100	500	90.849453												
15	100	600	91.124983												
16	100	700	91.489372												
17	200	0	91.591056												
18	200	100	91.078840												
19	200	200	90.527490												
20	200	300	90.058610												
21	200	400	89.871363												
22	200	500	90.057894												

Диалоговое окно сохранения данных о напорах на диске ПЭВМ

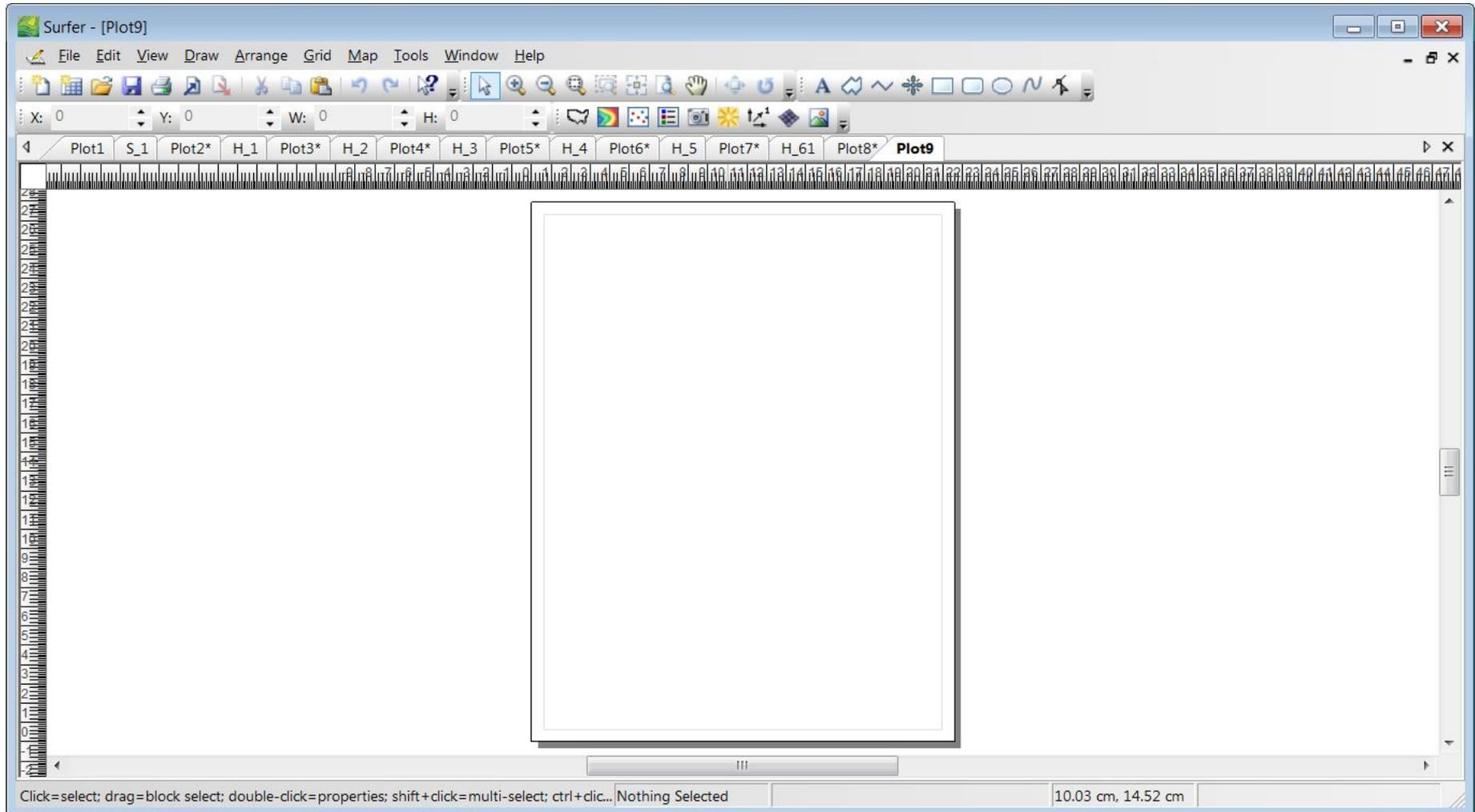


Диалоговое окно выбора формата сохранения данных о напорах на
диске ПЭВМ

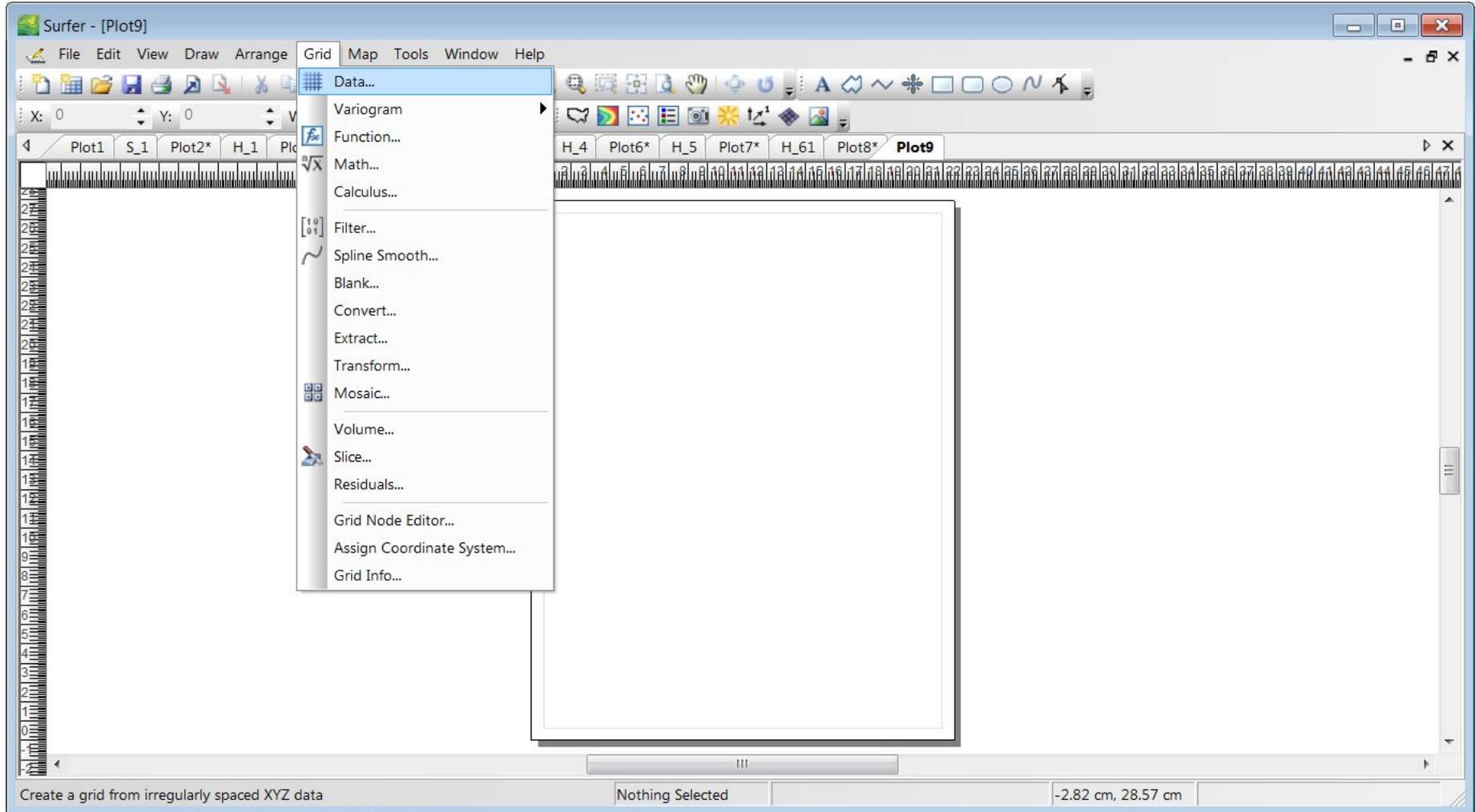


Численно-аналитическое моделирование

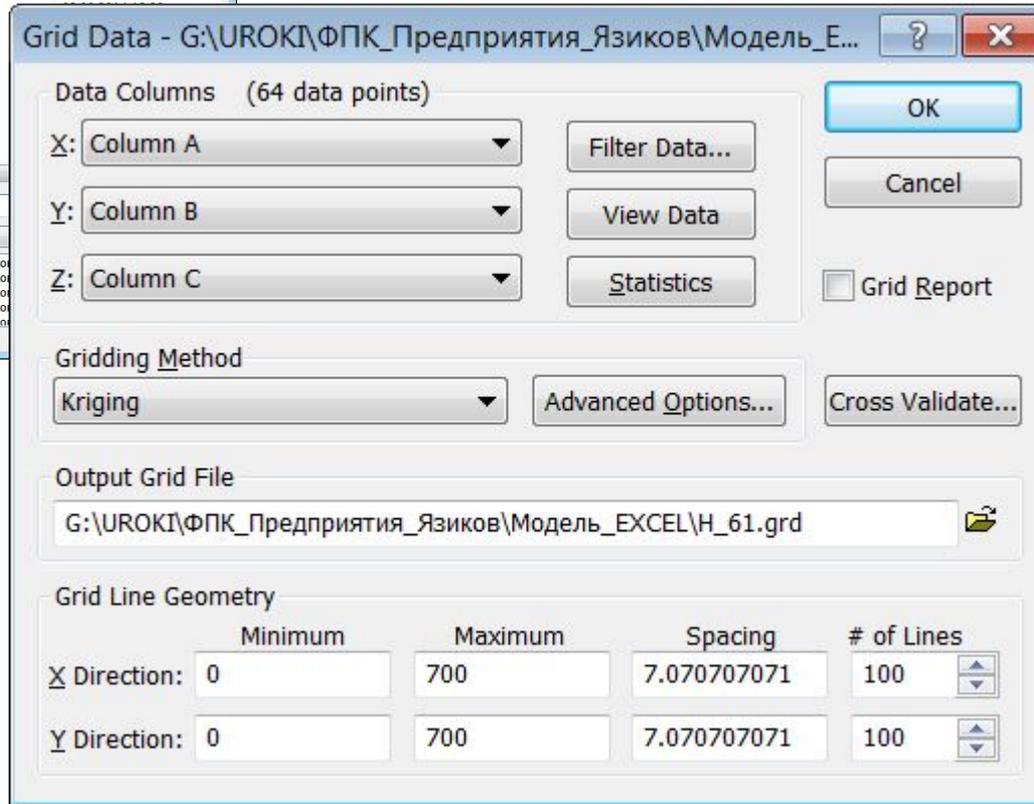
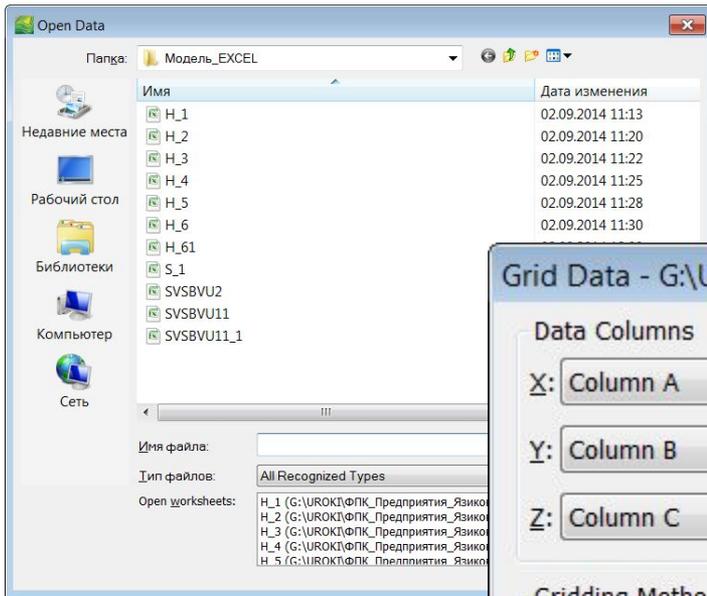
Окно для вывода карт ПК SURFER



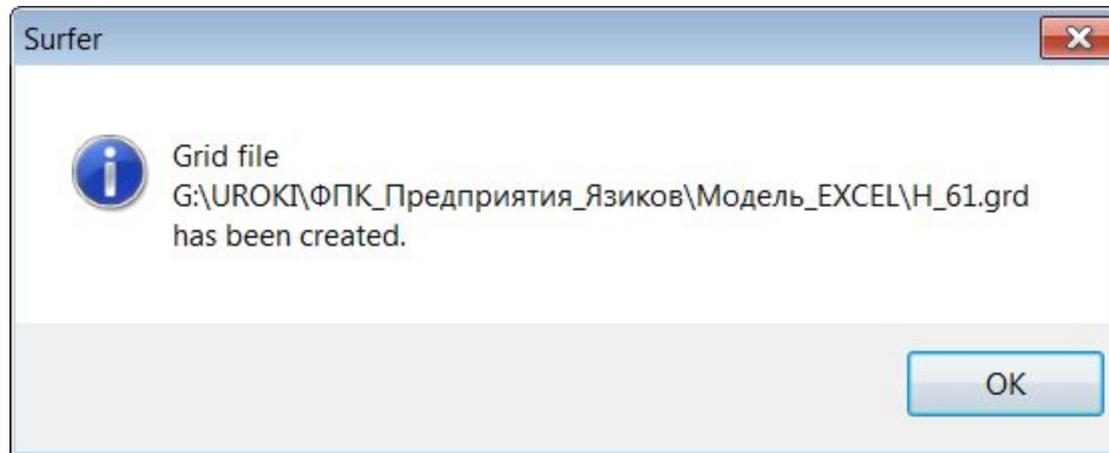
Диалоговое окно выбора данных для интерполяции



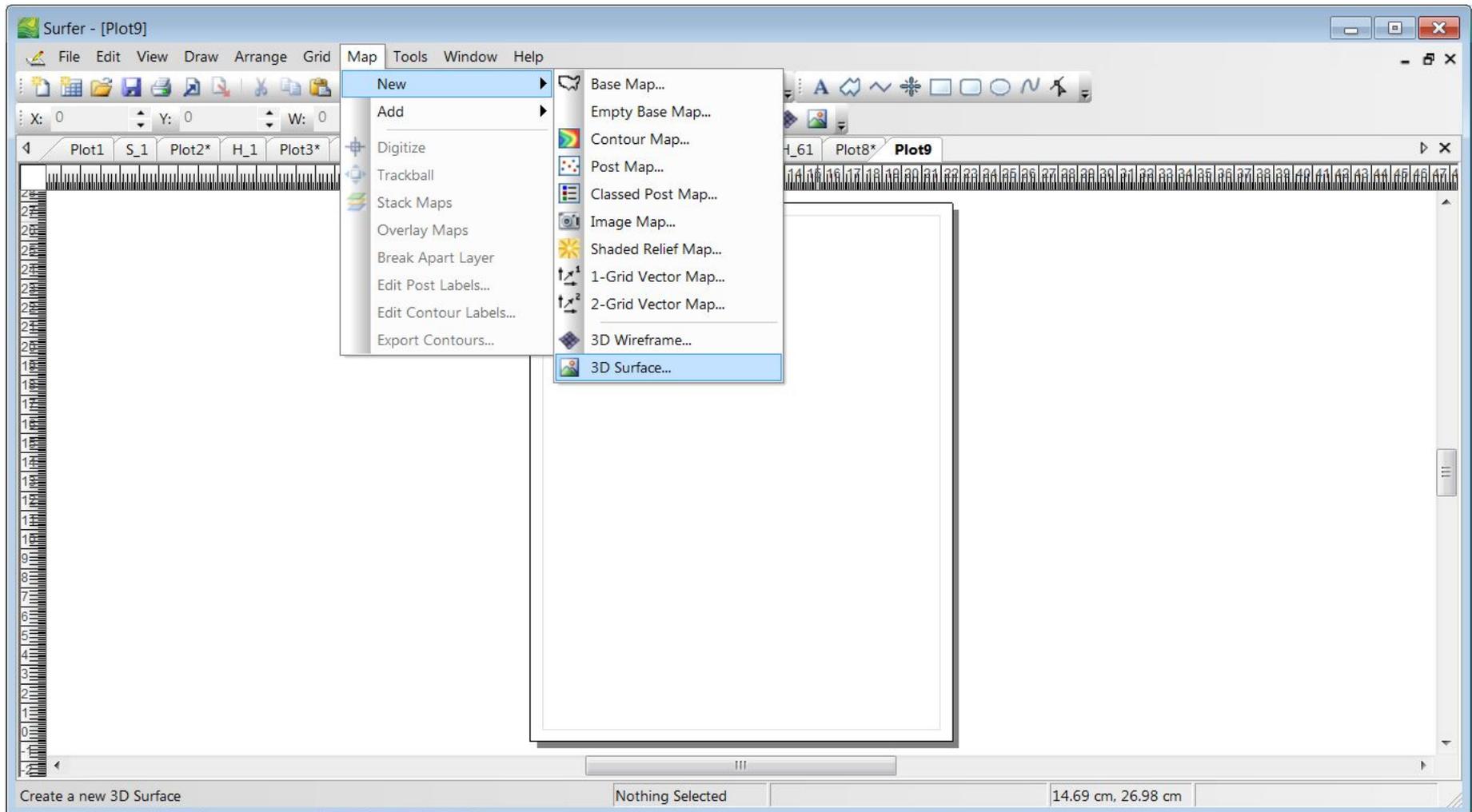
Диалоговые окна выбора файла и настройки результатов интерполяции



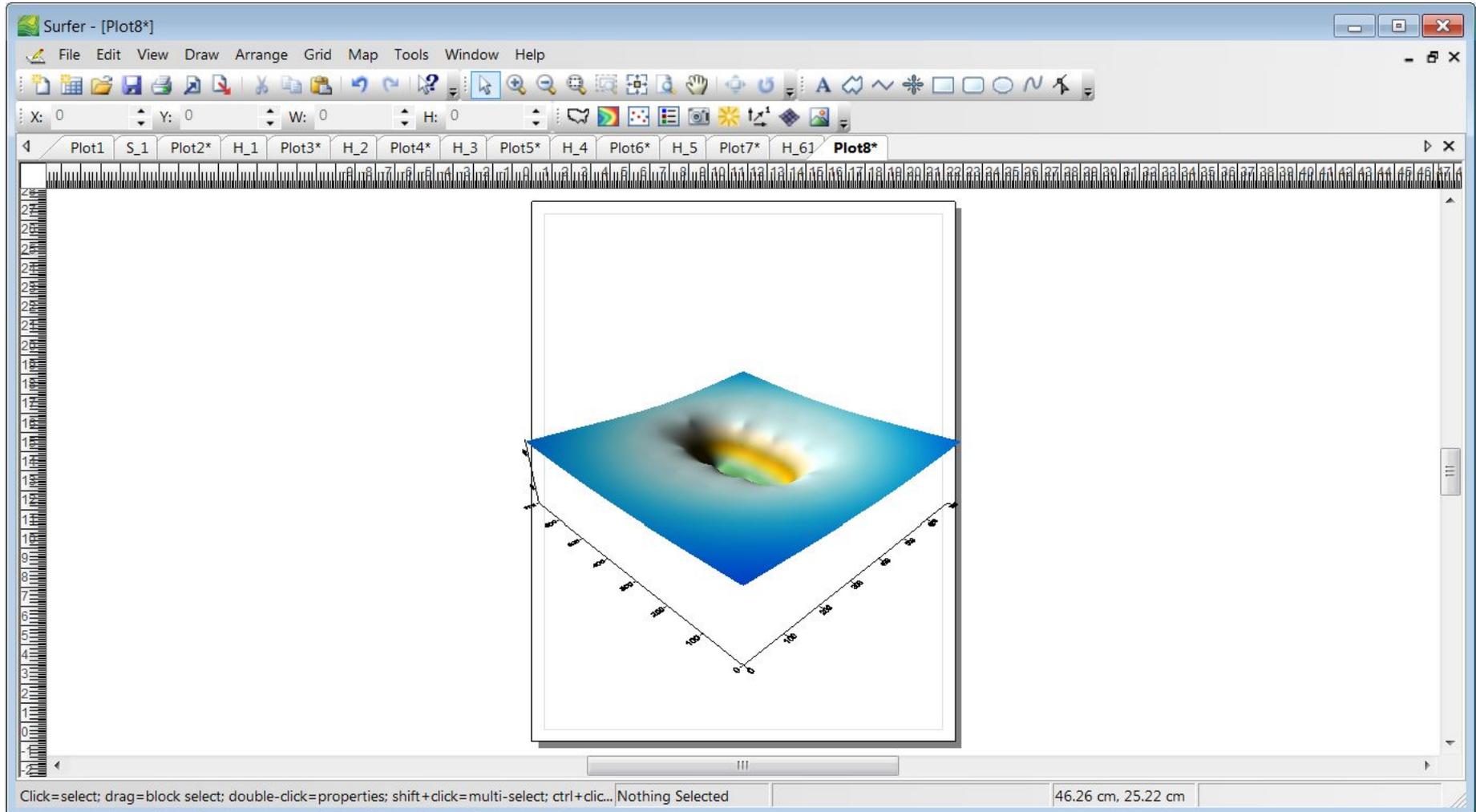
Сообщение об удачном завершении процедуры интерполяции
*(результатирующий файл формата *.grd записан на диск)*



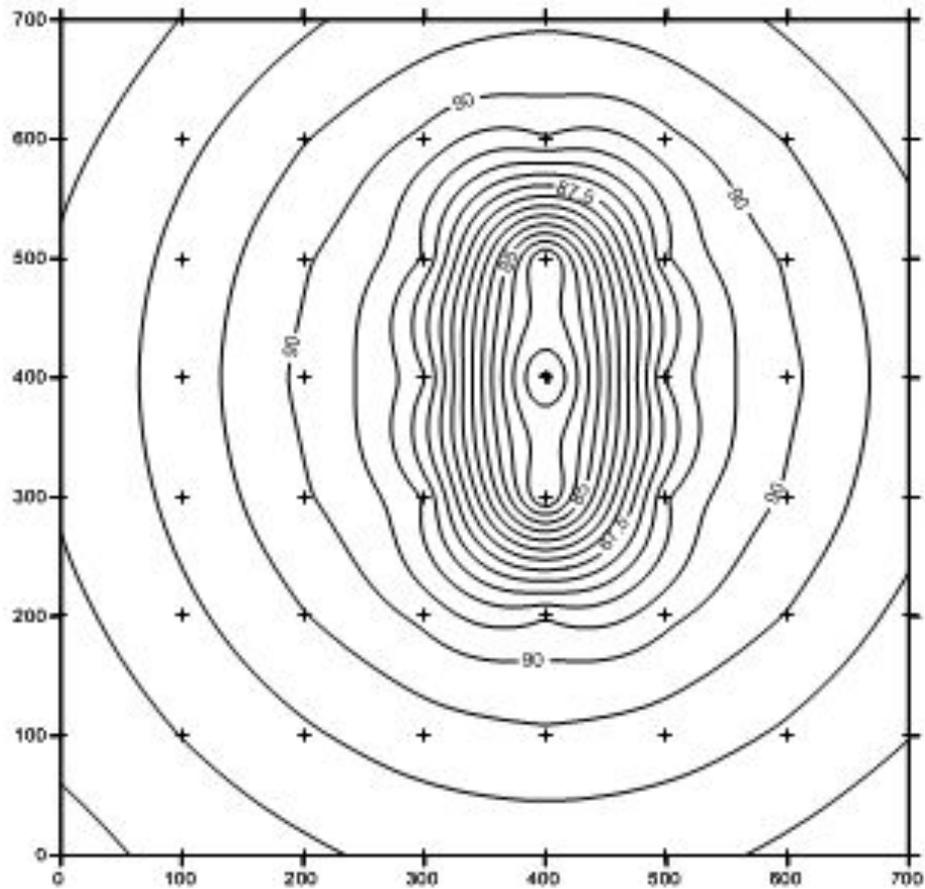
Выбор типа карты для вывода на экран (объёмная диаграмма)



Результаты расчёта напоров (объёмная диаграмма)



Карта напоров в виде изолиний
(отмечены контрольные точки, в которых рассчитаны значения напора)



Метод зеркальных отображений

Для расчёта водозаборов в условиях взаимодействия с граничными условиями используется метод «зеркальных отображений»

Метод зеркальных отображений

В основе использования метода «зеркальных отображений» лежит формализация взаимодействия скважин водозабора с граничными условиями

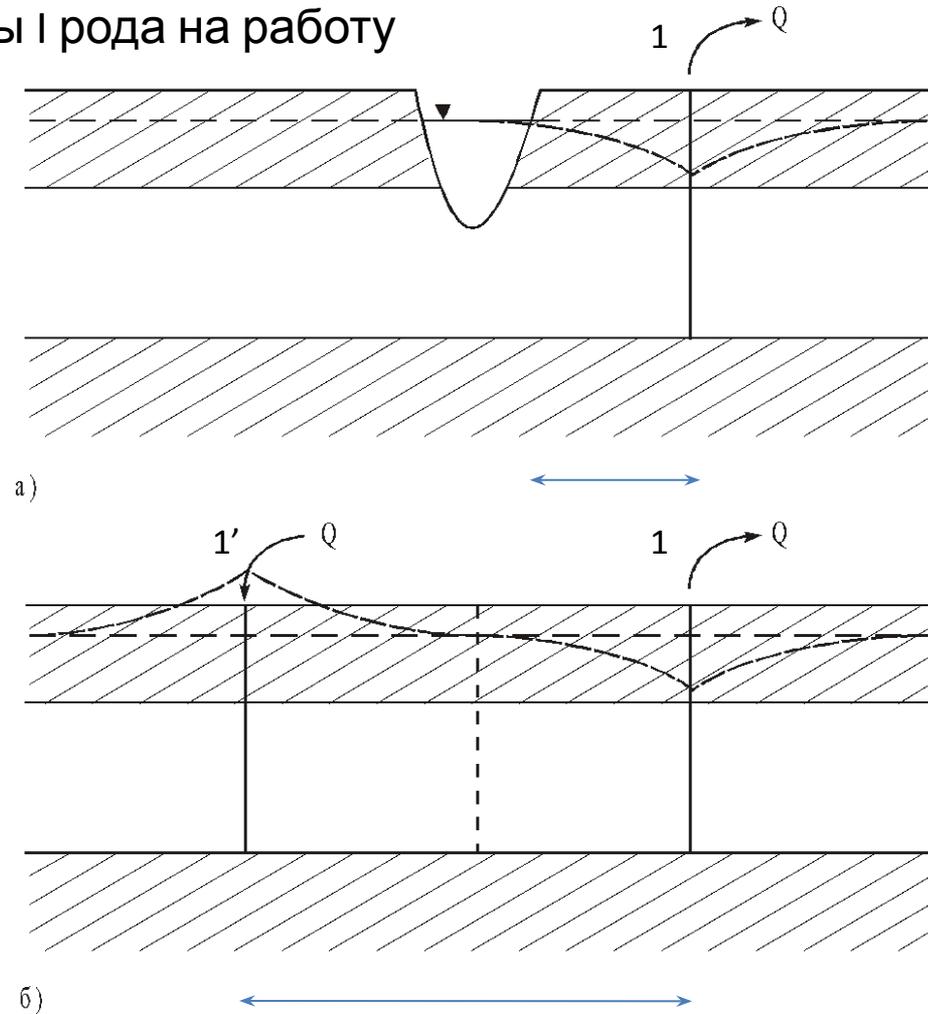
Прогноз работы водозабора выполняют на расчётной схеме, в которой влияние границы (границ) заменяют влиянием зеркальных отображений реальных скважин. В результате такой замены расчётная схема становится в гидродинамическом отношении эквивалентной природной обстановке и позволяет проводить расчёты только в рамках учета взаимодействия скважин для условий неограниченного водоносного горизонта

Метод зеркальных отображений

Для использования метода «зеркальных отображений» при схематизации гидрогеологических условий необходимо сделать две замены:

1. заменить реальный водоносный горизонт, содержащий границу, на точно такой же неограниченный
2. заменить влияние границы влиянием зеркального отображения реальной скважины

Схема учёта влияния границы I рода на работу скважины



а- реальный полуограниченный водоносный горизонт;
б- фиктивный неограниченный водоносный горизонт

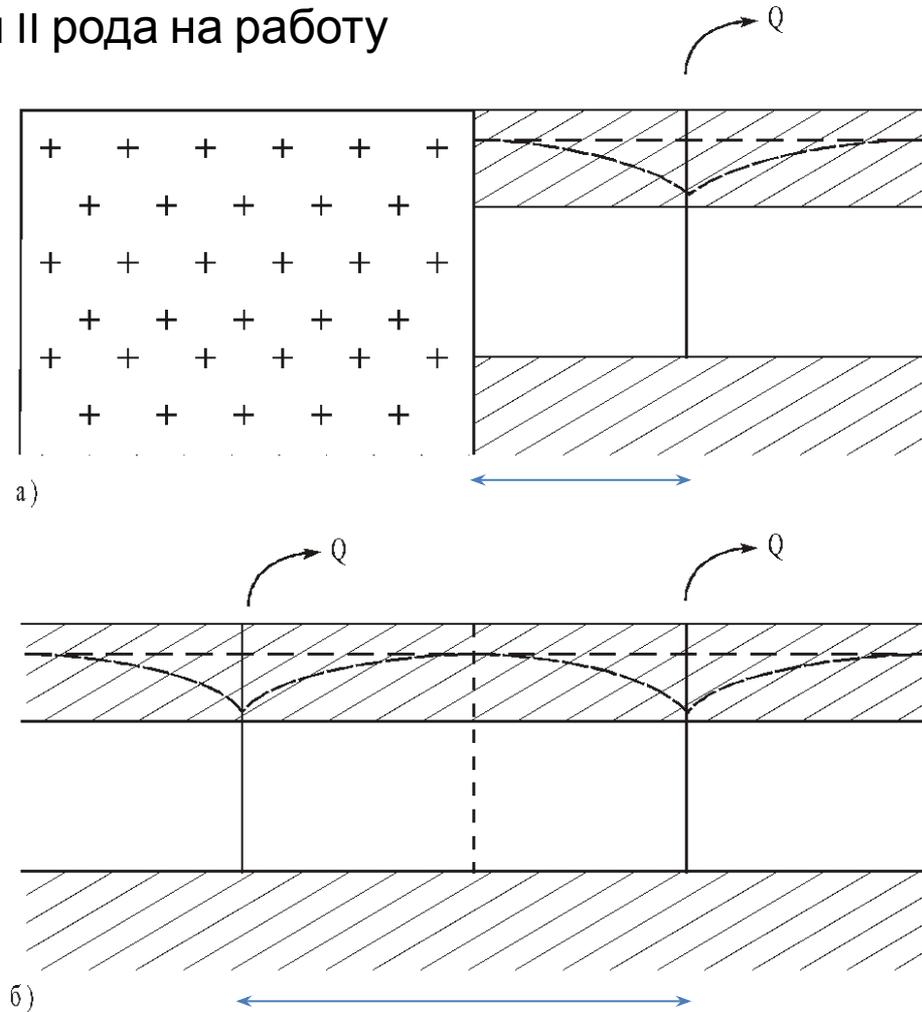
Схема учёта влияния границы I рода на работу скважины

$$S_1 = S_1^0 - \Delta S_{1-1'};$$

$$S_1^0 = \frac{Q_1}{4\pi km} \ln \frac{2,25at_1}{r_{скв.1}^2};$$

$$\Delta S_{1-1'} = \frac{Q_2}{4\pi km} \ln \frac{2,25at_{1'}}{r_{1-1'}^2};$$

Схема учёта влияния границы II рода на работу скважины



а- реальный полуограниченный водоносный горизонт;
б- фиктивный неограниченный водоносный горизонт

Схема учёта влияния границы II рода на работу скважины

$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-1'};$$

$$S_1^0 = \frac{Q_1}{4\pi km} \ln \frac{2,25at_1}{r_{скв.1}^2};$$

$$\Delta S_{1-1'} = \frac{Q_2}{4\pi km} \ln \frac{2,25at_{1'}}{r_{1-1'}^2};$$

Расчет понижения уровней для трех взаимодействующих скважин в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода

$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-2} + \Delta S_{1-3} - \Delta S_{1-1'} - \Delta S_{1-2'} - \Delta S_{1-3'};$$

$$S_2 = S_2^0 + \Delta S_{2-1} + \Delta S_{2-3} - \Delta S_{2-1'} - \Delta S_{2-2'} - \Delta S_{2-3'};$$

$$S_3 = S_3^0 + \Delta S_{3-1} + \Delta S_{3-2} - \Delta S_{3-1'} - \Delta S_{3-2'} - \Delta S_{3-3'};$$

Расчет понижения уровней для трех взаимодействующих скважин в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей второго рода

$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-2} + \Delta S_{1-3} + \Delta S_{1-1'} + \Delta S_{1-2'} + \Delta S_{1-3'};$$

$$S_2 = S_2^0 + \Delta S_{2-1} + \Delta S_{2-3} + \Delta S_{2-1'} + \Delta S_{2-2'} + \Delta S_{2-3'};$$

$$S_3 = S_3^0 + \Delta S_{3-1} + \Delta S_{3-2} + \Delta S_{3-1'} + \Delta S_{3-2'} + \Delta S_{3-3'};$$

Расчет понижения уровней для трех взаимодействующих скважин в условиях полуограниченного водоносного горизонта с универсальным способом учёта характера граничных условий

$$S_1 = S_1^0 + \Delta S_{1-2} + \Delta S_{1-3} + IM * \Delta S_{1-1'} + IM * \Delta S_{1-2'} + IM * \Delta S_{1-3'};$$

$$S_2 = S_2^0 + \Delta S_{2-1} + \Delta S_{2-3} + IM * \Delta S_{2-1'} + IM * \Delta S_{2-2'} + IM * \Delta S_{2-3'};$$

$$S_3 = S_3^0 + \Delta S_{3-1} + \Delta S_{3-2} + IM * \Delta S_{3-1'} + IM * \Delta S_{3-2'} + IM * \Delta S_{3-3'};$$

$IM=0$ неограниченный пласт

$IM=-1$ полуограниченный пласт с границей первого рода

$IM=1$ полуограниченный пласт с границей второго рода

Результаты расчета понижения уровней в условиях неограниченного водоносного горизонта

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R26

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут 5 Kf

Мощность, м 20 m

Естественный напор, м 100 He

Водоотдача 0.001 mu

Коэффициент пьезопроводности 100000 a

Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105 Hpv

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpv

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104 Hpn

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpn

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
Координаты, м Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м ³ /сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0											
Понижение	6.27	5.09	16.91	17.46	16.91	9.15	9.26	9.15	8.88	8.51	8.36	8.54	8.60	8.54	8.54

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 0

Гидродинамический характер 0

26 Неограниченный пласт 0

27 Полупроницаемый (первого рода) -1

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Численно-аналитическое моделирование

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей второго рода

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страниц Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R26

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут 5 Kf

Мощность, м 20 m

Естественный напор, м 100 He

Водоотдача 0.001 mu

Коэффициент пьезопроводности 100000 a

Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105 Hpv

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpv

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104 Hpn

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpn

Параметры возмущающих скважин

		Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м	X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	100	500	500	500	500	500
	Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м³/сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы					0											
Понижение		12.20	10.34	26.85	27.59	26.85	17.20	17.34	17.20	16.80	16.25	15.91	16.17	16.27	16.17	16.17

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 0

Гидродинамический характер 1

Неограниченный пласт 0

Полуограниченный (первого рода) -1

Готово

Численно-аналитическое моделирование

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R27

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут K_f 5

Мощность, м 20

Естественный напор, м H_e 100

Водоотдача μ 0.001

Коэффициент пьезопроводности 100000

Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м $H_{рв}$ 105

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 $K_{рв}$

Характеристика нижней раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м $H_{рн}$ 104

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 $K_{рн}$

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
Координаты, м Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м ³ /сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0											
Понижение	0.35	-0.16	6.97	7.33	6.97	1.11	1.17	1.11	0.95	0.77	0.82	0.91	0.94	0.91	0.91

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 0

Гидродинамический характер -1

Неограниченный пласт 0

Полуограниченный (первого рода) -1

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Готово 90%

Результаты расчета понижения уровней для системы из трех взаимодействующих скважин в различных граничных условиях

Граничные условия	Понижение, м
Неограниченный ВГ	17,46
Полуограниченный ВГ с границей первого рода	7,33
Полуограниченный ВГ с границей второго рода	27,59

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода (расстояние до границы 10 м)

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R27

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут **5** Kf

Мощность, м **20** m

Естественный напор, м **100** He

Водоотдача **0.001** mu

Коэффициент пьезопроводности **100000** a

Коэффициент водопродовимости **100**

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м **105** Hpv

Мощность, м **30**

Коэффициент фильтрации, м/сут **0.00001**

Коэффициент перетока **3.3333E-07** Kpv

Характеристика нижней раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м **104** Hpn

Мощность, м **30**

Коэффициент фильтрации, м/сут **0.00001**

Коэффициент перетока **3.3333E-07** Kpn

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
Координаты, м Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м ³ /сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0											
Понижение	0.04	-0.02	4.24	4.26	4.24	0.14	0.15	0.14	0.11	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L **-90**

Гидродинамический характер **-1**

Неограниченный пласт 0

Полуограниченный (первого рода) -1

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Готово 90%

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода (расстояние до границы 100 м)

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R27

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта				Характеристика верхнего раздельного слоя			
Кoeffициент фильтрации, м/сут		5	Kf	Напор верхнего питающего пласта, м		105	Hpv
Мощность, м		20	m	Мощность, м		30	
Естественный напор, м		100	He	Кoeffициент фильтрации, м/сут		0.00001	
Водоотдача		0.001	mu	Кoeffициент перетока		3.3333E-07	Kpv
Кoeffициент пьезопроводности		100000	a	Характеристика нижнего раздельного слоя			
Кoeffициент водопроводности		100		Напор нижнего питающего пласта, м		104	Hpn
				Мощность, м		30	
				Кoeffициент фильтрации, м/сут		0.00001	
				Кoeffициент перетока		3.3333E-07	Kpn

Параметры возмущающих скважин

		Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м	X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
	Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м ³ /сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы					0											
Понижение		0.35	-0.16	6.97	7.33	6.97	1.11	1.17	1.11	0.95	0.77	0.82	0.91	0.94	0.91	0.91

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L: 0

Гидродинамический характер: -1

Неограниченный пласт: 0

Полуограниченный (первого рода): -1

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Готово 90%

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода (расстояние до границы 1000 м)

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R27

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут 5 Kf

Мощность, м 20 m

Естественный напор, м 100 He

Водоотдача 0.001 mu

Коэффициент пьезопроводности 100000 a

Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105 Hpv

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpv

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м	X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	500	500	500	500	500
	Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501
Расходы, м³/сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0											
Понижение		2.40	-0.16	12.10	12.65	12.10	4.68	4.78	4.68	4.41	4.06	4.00	4.17	4.23	4.17

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104 Hpn

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpn

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 900

Гидродинамический характер -1

Неограниченный пласт 0

Полуограниченный (первого рода) -1

Готово

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода (расстояние до границы 10000 м)

SVSBVU11_1 [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

R27

Анализ работы водозабора в сложных условиях

ВНИМАНИЕ ! внести изменения для своего варианта в ячейки, выделенные цветом

Характеристика напорного водоносного горизонта

Коэффициент фильтрации, м/сут 5 Kf

Мощность, м 20 m

Естественный напор, м 100 He

Водоотдача 0.001 mu

Коэффициент пьезопроводности 100000 a

Коэффициент водопроводности 100

Характеристика верхнего раздельного слоя

Напор верхнего питающего пласта, м 105 Hpv

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpv

Параметры возмущающих скважин

	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12	Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15
Координаты, м X	1000	-1000	100	100	100	400	400	400	400	400	500	500	500	500	500
Y	1000	-1000	300	400	500	500	400	300	200	100	201	301	401	501	502
Расходы, м³/сут	1500	0	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Радиус фильтра, м		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Время работы, сут		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Проектная продолжительность работы				0											
Понижение		6.27	5.09	16.91	17.46	16.91	9.15	9.26	9.15	8.88	8.51	8.36	8.54	8.60	8.54

Характеристика нижнего раздельного слоя

Напор нижнего питающего пласта, м 104 Hpn

Мощность, м 30

Коэффициент фильтрации, м/сут 0.00001

Коэффициент перетока 3.3333E-07 Kpn

Характеристика внешней границы

Расстояние до границы L 9900

Гидродинамический характер -1

Неограниченный пласт 0

Полуограниченный (первого рода) -1

Шаблон SURFпонижения SURFнапоры Уровни Перетоки SURFточки Лист5

Готово 90%

Результаты расчета понижения уровней в условиях полуограниченного водоносного горизонта с границей первого рода (при различных расстояниях до границы)

Расстояние до границы первого рода, м	Понижение, м
10	4,26
100	7,33
1000	12,65
10000	17,46

Численно-аналитическая модель системы взаимодействующих скважин позволяет оперативно рассчитать понижение уровня под влиянием работы возмущающего сооружения с относительно сложным режимом эксплуатации в условиях полуограниченного водоносного горизонта с различными типами граничных условий.

Существует возможность визуализации результатов расчетов с привлечением ГИС технологий

Наиболее эффективно применение численно-аналитического моделирования для уточняющих расчетов водозаборных и дренажных систем и для решения прогностных задач работы водозаборных систем в оптимизационной постановке

Существенным ограничением применения численно-аналитического моделирования является исключительно однородное строение водоносного горизонта