

[Текст] / Б. А. Севастьянов. — М. : Наука, 1982. — С. 236–239.

6. **Хан, Г.** Статистические модели в инженерных задачах [Текст] / Г. Хан, Г. Шапиро. — М. : Мир, 1969. — 395 с.

7. **Harter, H. L.** New Tables of the Incomplete Gamma-Function Ratio and of Percentage

Points of the Chi-square and Beta Distributions [Text] / H. L. Harter. — Aerospace Research Laboratories, U. S. Air Force, 1964. — 245 p.

8. **Pearson, K.** Tables of the Incomplete Γ -Function, Biometrics Office [Text] / K. Pearson. — University College, London, 1957. — P. 164.

УДК 502/504:556.3.01

Ю. Г. Буркова, канд. техн. наук, доцент

С. Н. Карамбилов, доктор техн. наук, профессор

П. М. Уманский, аспирант

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ВОДОЗАБОРА

Предложен метод выбора параметров скважинной системы, учитывающий случайный характер водопотребления для разных гидрогеологических показателей. Цель исследования — обоснованный выбор оптимального варианта параметров подземного водозабора при проектировании, а также проведение машинного эксперимента для выбранного проектного варианта. Оптимизируемым критерием является величина интегральных дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию исследуемой системы за расчетный срок службы.

The method of parameters choice of the well system is proposed which takes into consideration a random character of water consumption for different hydro-geologic indicators. The aim of the research is a proved choice of the optimal alternative of the underground intake parameters at designing as well as fulfillment of the machine experiment for the chosen projected variant. The optimized criterion is a size of integral discounted expenses on construction and operation of the system under study during the service life.

Подземный водозабор является сложной системой, обладающей всеми ее характерными признаками. Рассмотрим процесс ее функционирования, используя метод имитационного моделирования [1, 2].

Целью исследования является обоснованный выбор оптимального варианта параметров подземного водозабора при проектировании, а также проведение машинного эксперимента для выбранного проектного варианта. Оптимизируемый критерий — величина интегральных дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию исследуемой системы за расчетный срок службы.

Исходными данными при расчете системы являются следующие:

1) принципиальная схема водозабора, из которой определяется общее число скважин, узлов и участков сети, координаты и отметки узлов сети, положение резервуара, длина, начальный диаметр, материал труб и положение задвижек на участках (эти величины могут меняться при вариантном проектировании);

2) границы рабочей зоны и марка насосов в скважинах;

3) характеристики резервуара (высота и площадь дна бака, высота дна бака от земли);

4) общие параметры системы (общий требуемый расход, заданное общее

сопротивление задвижек, радиус влияния одной скважины, высота подъема, дополнительное сопротивление из-за несовершенства скважины и др.);

5) гидрогеологические характеристики водоносного горизонта (мощность водоносного слоя, коэффициент фильтрации, отметка статического уровня подземных вод, допустимое понижение);

6) ступенчатый график математических ожиданий требуемого водопотребления и ковариационная матрица;

7) временные характеристики для имитационного расчета (срок службы системы, число суток имитации, шаг расчета по времени и др.).

Укрупненные блок-схемы двух основных процедур расчета приведены на рис. 1 и 2.

Комплексный расчет скважинных систем включает в себя определение оптимального числа скважин, их топологии, фильтров, труб, водоподъемного оборудования и т. д. Составной частью такого расчета является гидравлический расчет, в процессе которого при заданных гидрогеологических параметрах [при функции понижения $S = S(Q)$], характеристиках труб и насосов, плановой схеме сбора воды из скважин и высотной схеме подачи воды потребителю определяют следующие параметры: расходы, подаваемые скважинами; понижение уровней воды в них; расходы и потери напора в водоподъемных и напорных трубопроводах; параметры работы насосного оборудования; временное изменение основных параметров случайного процесса функционирования водозабора подземных вод.

Такие расчеты проводят при различных режимах работы и в различные периоды эксплуатации водозаборов. При этом в гидравлическую увязку входит гидрогеологический расчет изменения динамического уровня воды [3].

Принципиальная схема наиболее распространенной скважинной системы приведена на рис. 3 и 4. Она представляет собой линейный ряд скважин, работающих на один сборный резервуар [4].

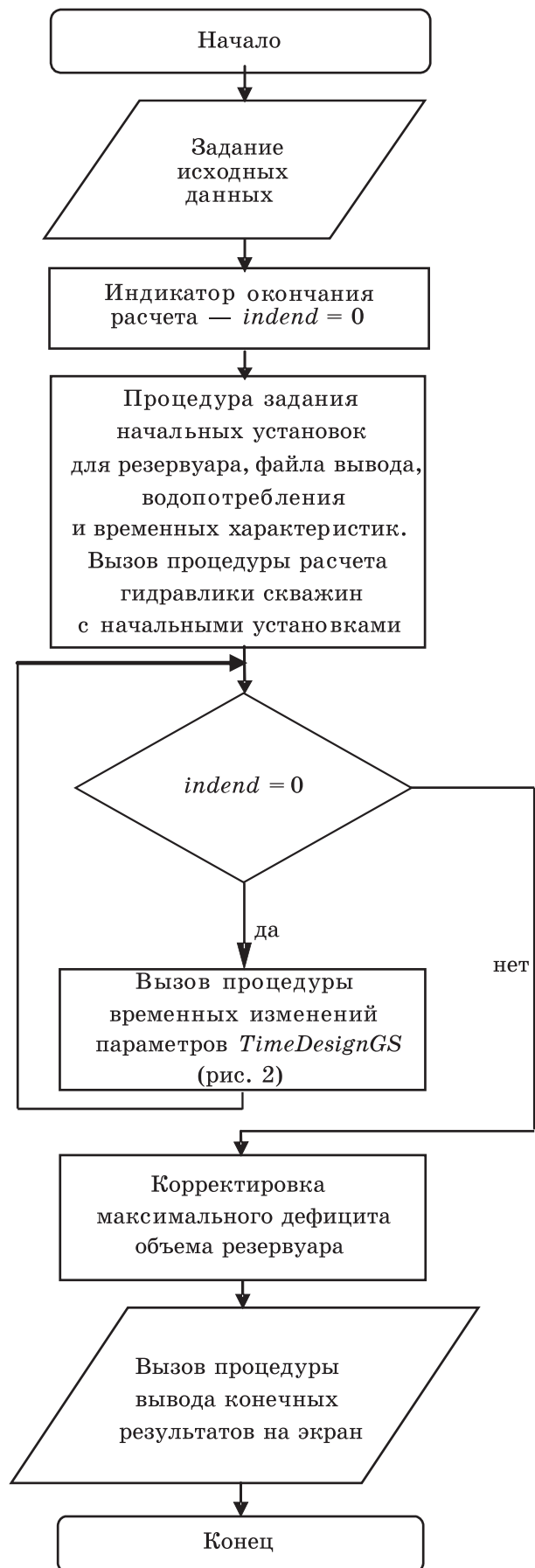


Рис. 1. Укрупненная блок-схема процедуры имитации работы подземного водозабора



Рис. 2. Укрупненная блок-схема процедуры TimeDesignGS

Требуемый напор насоса, м, подающего воду из i -й скважины в резервуар, можно определить по формуле

$$H_{\text{ни}} = Z_i + S_i + \Delta h_{\text{би}}, \quad (1)$$

где Z_i — геометрическая высота подъема воды из i -й скважины, отсчитанная от статического

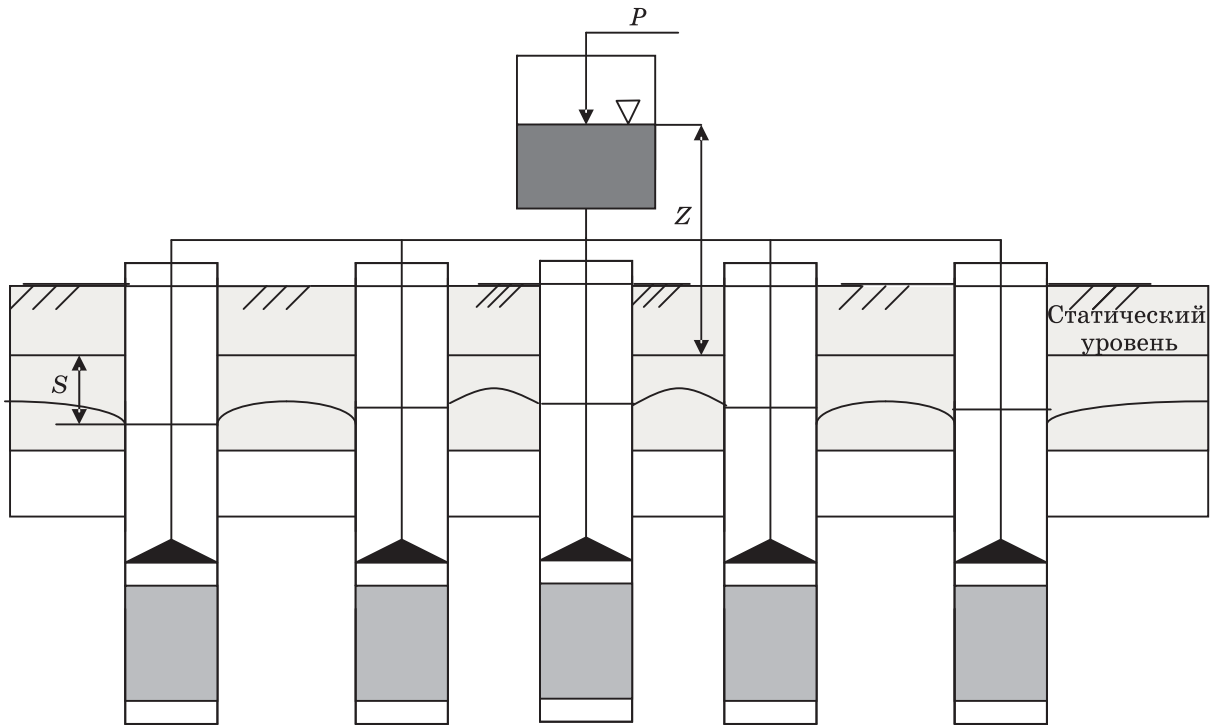


Рис. 3. Схема водозабора подземных вод

уровня; S_i — понижение уровня в i -й скважине на отметке водоприемной части насоса; Δh_{bi} — потери напора в водоподъемных трубах и в водоводе от i -й скважины до резервуара.

Понижение уровня обычно принимают пропорциональным количеству воды, отбираемому из скважины Q_{cki} [4]:

$$S_i = S_{удл} Q_{cki} + S_{n-i}, \quad (2)$$

где $S_{удл}$ — удельное сопротивление i -й скважины, $S_{удл} = 1/q_{удл}$; Q_{cki} — дебит скважины; $q_{удл}$ — удельный дебит скважины; S_{n-i} — суммарное понижение от взаимодействующих скважин.

Потери напора определяют по известной формуле:

$$\Delta h_{bi} = \sum_{i \in I} S_{il} q_i^\beta,$$

где $S_{il} = l_i A_i$ — гидравлическое сопротивление i -й линии; l_i — длина i -й линии; A_i — удельное гидравлическое сопротивление i -й линии; q_i — расход в i -й линии; β — показатель степени [3]; I — путь (последовательность участков), соединяющий i -ю скважину с резервуаром, расход первого участка в этом пути равен расходу i -й скважины, последнего — общей подаче водозабора. (При этом предполагается, что на данном пути выполняется баланс расходов в узлах.)

Фактический напор насоса может отличаться от требуемого, так как определяется Q - H характеристикой, которая в области оптимальных коэффициентов полезного действия может быть аппроксимирована квадратной параболой [4] с параметрами H_0 и S_H :

$$H = H_0 - S_H Q^2. \quad (3)$$

Подставляя в формулу (1) выражения для ее слагаемых, получим систему нелинейных уравнений для расходов, подаваемых скважинами:

$$Z_i + S_{удл} Q_{cki} + S_{n-i} + \sum_{i \in I} S_i q_i^\beta - H_{0i} + S_{H_i} Q_{cki}^2 = 0, \quad (4)$$

где $i = 1 \dots N$; N — число скважин.

Система (4) может быть решена любыми итерационными методами, например методом Ньютона. Однако ввиду ее структуры удобнее применить методы, аналогичные методам увязки кольцевых сетей [4]. Для этого необходимо превратить разветвленную сеть в кольцевую, включив в нее, например, линии, соединяющие каждую скважину с резервуаром и имеющие нулевое сопротивление (рис. 4).

Задаваясь первым приближением $Q_{cki} = Q/N$, где Q — проектная мощность

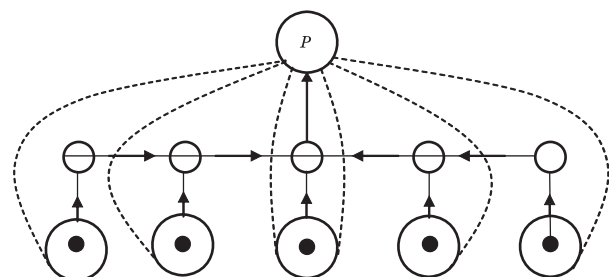


Рис. 4. Расчетная схема увязки

водозабора, а N — число скважин, найдем невязки:

$$\Delta h_i = Z_i + S_{уд1} Q_{cki} + S_{n-i} + \sum_{i \in I} S_i q_i^\beta - H_{0i} + S_{Hi} Q_{cki}^2. \quad (5)$$

Поправочный расход находим по формуле

$$\Delta q = \frac{-\Delta h}{\sum \beta S q_i^{\beta-1}}.$$

При этом необходимо учитывать, что в контур входят линии с различными законами сопротивления, общая формула которых может быть записана в виде $h = S q^\beta$.

Таким образом, знаменатель величины поправочного расхода принимает следующий вид:

$$S_{уд1} + \sum_{i \in I} \beta S_i^{\beta-1} + 2S_{Hi} Q_{cki}. \quad (6)$$

Расчет проводим в два этапа до выполнения условия $|\Delta h_i| < \varepsilon$, где $i = 1 \dots N$; ε — точность увязки.

На первом этапе величины S_{n-i} не учитывают. После его завершения подсчитывают понижения от взаимо-

действующих скважин, и расчет повторяют с поправкой на S_{n-i} .

Величину удельного сопротивления скважины $S_{уд1}$, а также понижения уровня воды в каждой скважине S_i с учетом их взаимодействия определяют на основании гидрогеологических расчетов.

Найденные в результате расчета значения Q_{cki} и S_i должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$\sum_{i=1}^N Q_{cki} \geq Q; S_i \leq S_{доп}; Q_{Hmin} \leq Q_{cki} \leq Q_{Hmax}, \quad (7)$$

где Q_{Hmin} и Q_{Hmax} — границы рабочей зоны установленных в скважинах насосов.

В противном случае необходимо внести коррективы и повторить расчет.

Вид вкладки программы с исходными данными для гидравлического расчета, созданного в среде программирования Delphi, показан на рис. 5, результаты гидравлического расчета — на рис. 6.

Исходные данные для имитации после расчета системы показаны на рис. 7.

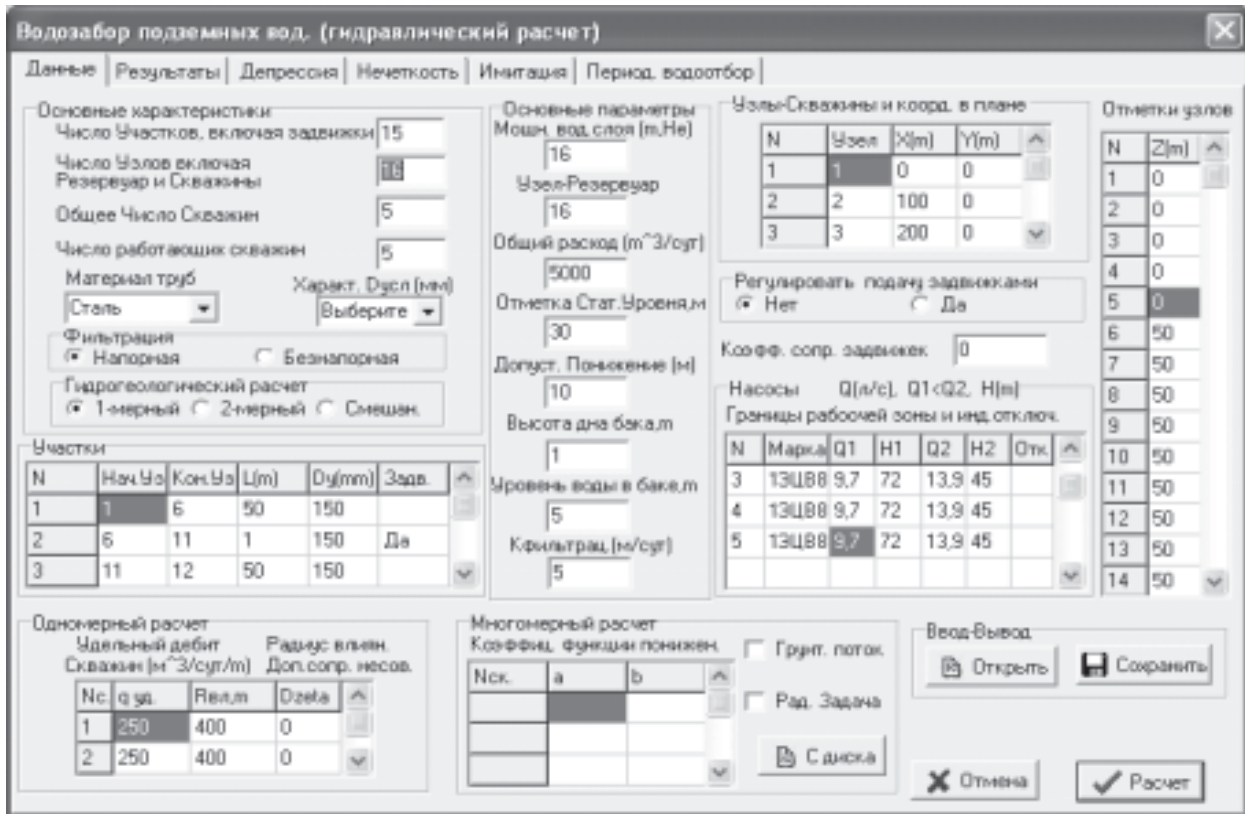
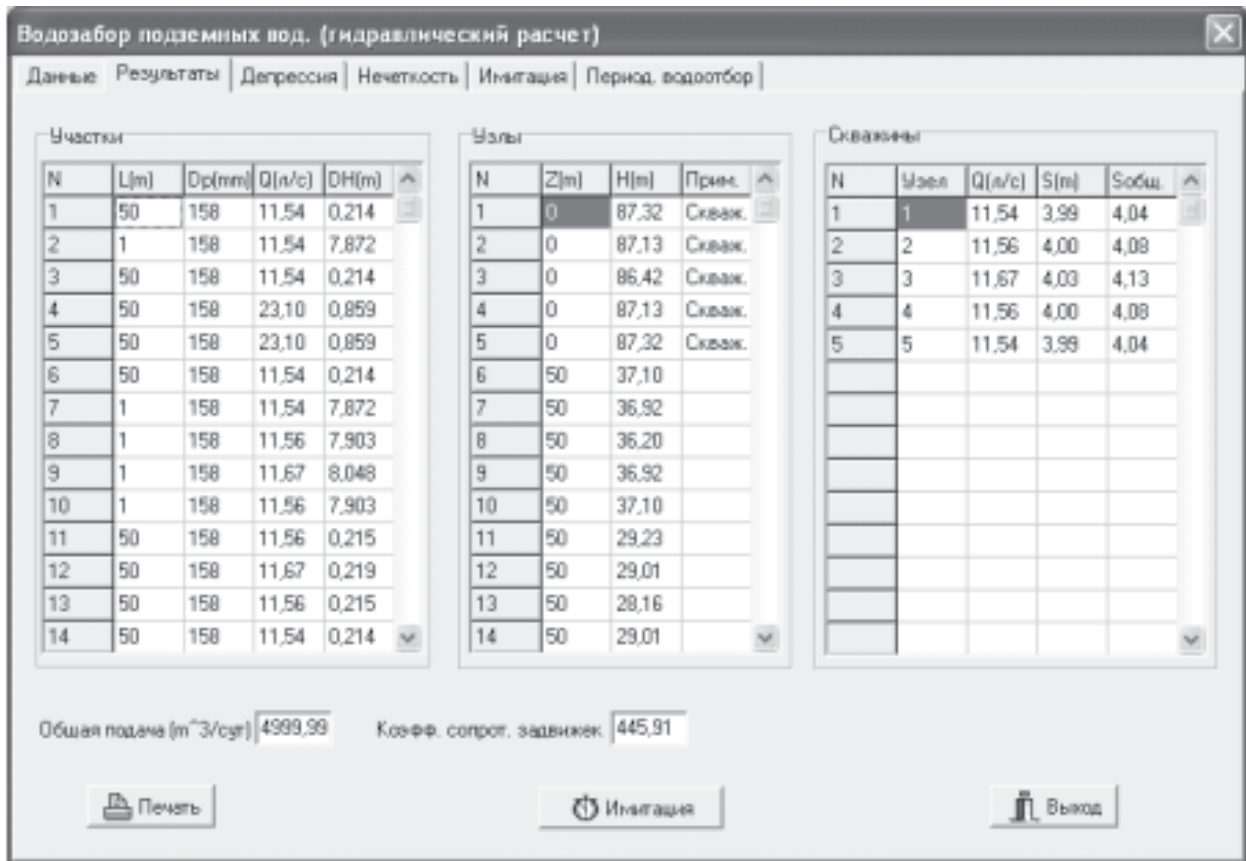
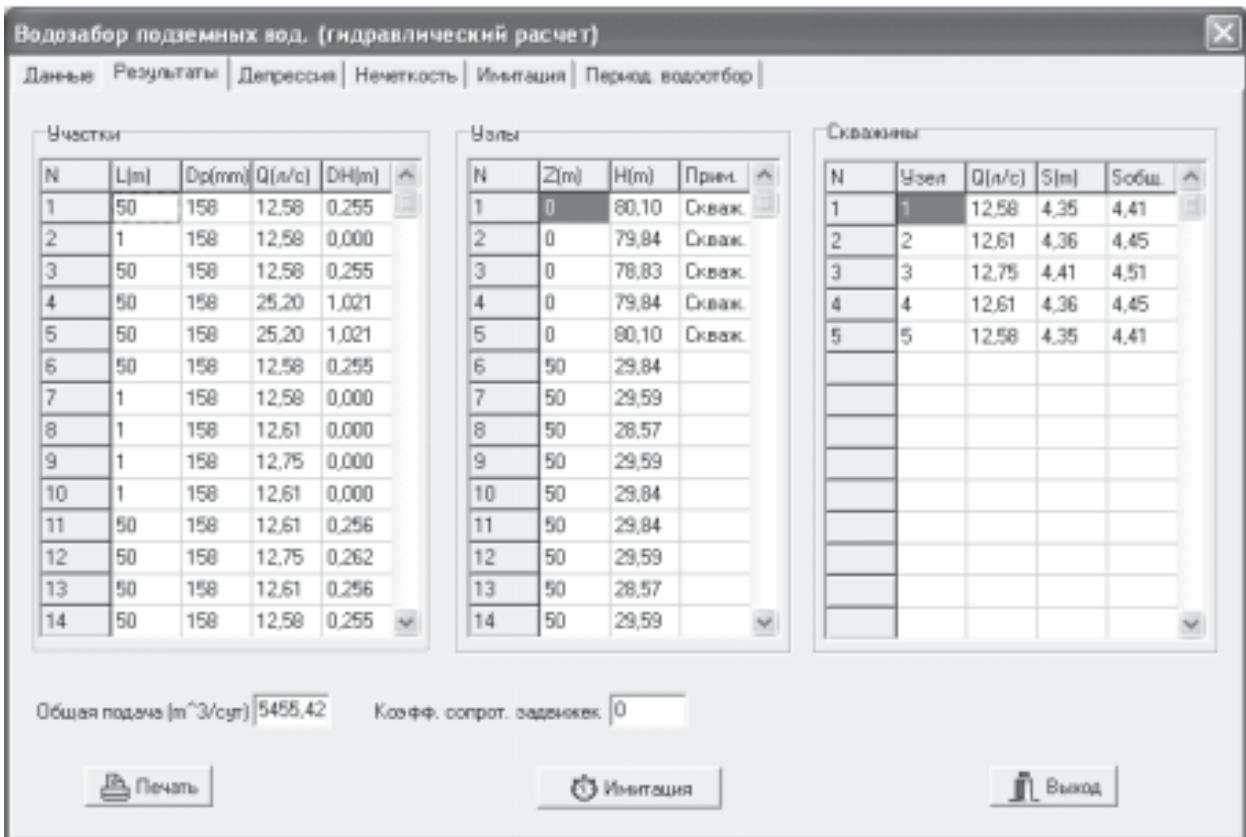


Рис. 5. Вкладка с исходными данными интерфейса приложения для гидравлического расчета подземного водозабора



а



б

Рис. 6. Вкладки с результатами гидравлического расчета подземного водозабора (с регулированием (а) и без регулирования (б) задвижками)

