

Продолжение табл. 6.12

Артикул	1	2	3	4	5
Синхронизированный интервал заказа, t'	4 дня	8 дней	4 дня	8 дней	8 дней
Годовые операционные затраты (\$)	283 684	66 614	226 861	144 690	109 446

Из таблицы 6.12 видно, что ресурсам присвоены интервалы поставки для обеспечения синхронной загрузки в транспортные средства, которые одновременно отправляются, проходят таможенное оформление, прибывают на склад предприятия, т.е. одновременные стадии обработки грузов эффективно организованы. В данной модели сгруппированы артикулы первый с третьим, второй с четвертым и пятым. Технология расчётов посредством инструментария Excel описана ниже.

6.3. Экономико-математические модели как часть алгоритмического обеспечения экономических информационных систем

На предприятиях-поставщиках ресурсов для промышленности региона распространена система «1С: Предприятие 8.X». Сформированные в этой системе отчёты о движении материальных ресурсов в интегрированной системе поставок промышленным производства конвертируются в рабочие листы Microsoft Excel для выполнения анализа, как показано на схеме (рис. 6.3)¹:

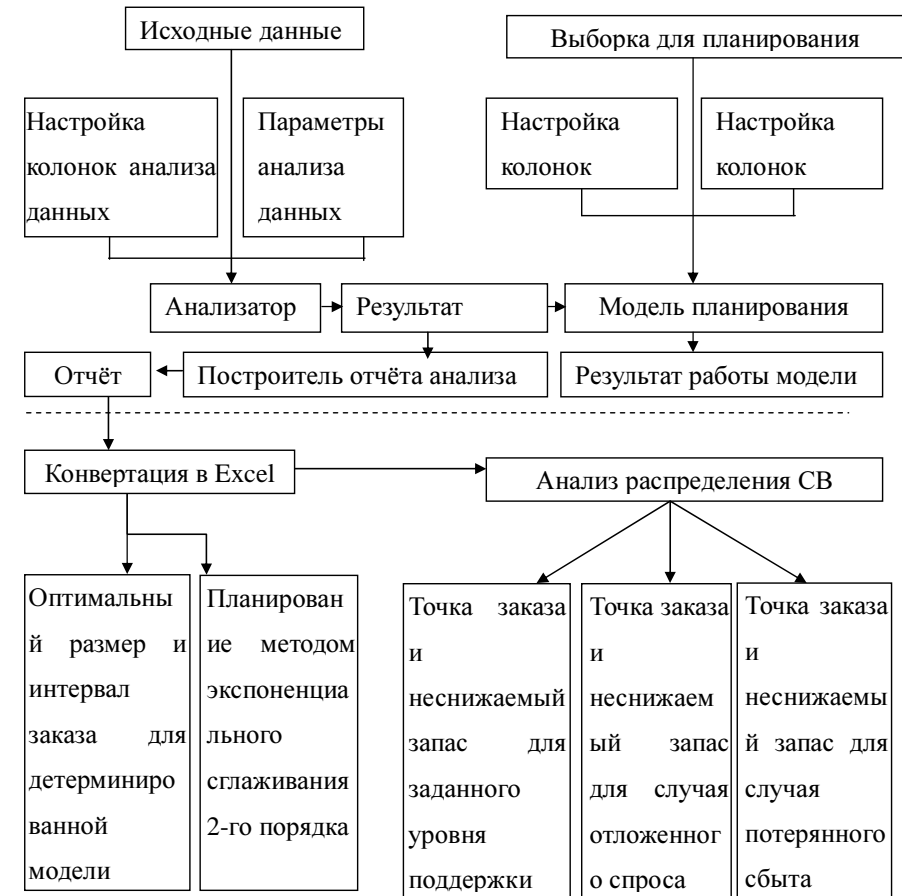


Рис. 6.3. Решение задач логистической оптимизации и планирования взаимодействием основных объектов анализа системы «1С: Предприятие 8.X» и пакета Microsoft Excel

Модели планирования и оптимизации для предприятия логистического аутсорсинга реализуется на базе триады математическая модель – вычислительный алгоритм – программа. Ниже рассматриваются данные о движении ресурса, полученные из отчётов системы «1С: Предприятие 8.X» о еженедельном движении и конвертированных с

¹ Верхняя часть схемы до пунктирной линии разработана М.Г. Радченко [6].

помощью функции «Сохранить как рабочий лист Excel» (столбцы В и С таблицы 6.13). Необходимые для инициализации исходные значения a_1 , b_1 , b_2 рассчитываются с помощью арифметических операций Excel на базе данных предыдущих периодов (диапазон E2:I2). С помощью процедуры «Поиск решения» определяется константа сглаживания. В ячейку J2 вводится пробное значение α от 0 до 1 (0,5).

Таблица 6.13. Расчёт константы и планирование методом Холта

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				a_1	b_1	b_2	$F_0^{[1]}$	$F_0^{[2]}$	α
2				8 514	12 690	-40,15	8 538	8 562	0,624
3 №		Расход (кг)	$F_t^{[1]}$	$F_t^{[2]}$	$b_{1(t-1)}$	$b_{2(t-1)}$	$x_{(t-1)}$	Абс. откл.	Отн. откл.
4 1	Период 1	0	3 211	5 223	8 514	-40	0	0	
5 2	Период 2	5 306	4 518	4 783	1 198	-3 339	-2 141	7 447	1,404
6 3	Период 3	8 233	6 836	6 064	4 253	-440	3 813	4 420	0,537
7 4	Период 4	11 080	9 484	8 198	7 608	1 281	8 889	2 191	0,198
8 5	Период 5	12 910	11 622	10 335	10 770	2 134	12 904	6	0,000
9 6	Период 6	4 829	7 383	8 493	12 909	2 136	15 045	10 216	2,116
10 7	Период 7	6 536	6 855	7 471	6 274	-1 842	4 432	2 104	0,322
11 8	Период 8	300	2 765	4 534	6 239	-1 022	5 216	4 916	16,387
12 9	Период 9	9 118	6 729	5 904	995	-2 936	-1 941	11 059	1,213
13 10	Период 10	11 324	9 596	8 208	7 554	1 370	8 924	2 400	0,212
14 11	Период 11	10 418	10 109	9 394	10 985	2 304	13 289	2 871	0,276
15 12	Период 12	5 558	7 269	8 068	10 824	1 186	12 010	6 452	1,161
16 13	Период 13	6 783	6 966	7 380	6 470	-1 326	5 144	1 639	0,242
17 14	Период 14	2 235	4 014	5 280	6 551	-688	5 863	3 628	1,623
18 15	Период 15	14 415	10 504	8 540	2 748	-2 101	647	13 768	0,955
19 16	Период 16	7 716	8 764	8 680	12 468	3 260	15 728	8 012	1,038
20 17	Период 17	6 817	7 549	7 974	8 849	140	8 989	2 172	0,319
21 18	Период 18	8 541	8 168	8 095	7 124	-705	6 419	2 122	0,248
22 19	Период 19	13 918	11 756	10 379	8 241	121	8 362	5 556	0,399
23 20	Период 20	7 868	9 330	9 725	13 132	2 284	15 417	7 549	0,959
24 21	Период 21	5 413	6 886	7 953	8 935	-655	8 280	2 867	0,530
25 22	Период 22	6 112	6 403	6 986	5 818	-1 771	4 047	2 065	0,338
26 23	Период 23	8 415	7 658	7 406	5 820	-967	4 853	3 562	0,423
27 24	Период 24	12 418	10 628	9 417	7 911	420	8 331	4 087	0,329
28 25	Период 25	9 445	9 890	9 712	11 840	2 011	13 851	4 406	0,466
29 26	Период 26	6 517	7 785	8 510	10 068	295	10 363	3 846	0,590
30 Сумма		202 225	202 679	202 710	204 100	1 109	196 736	119 363	32
31 Среднее значение		7 778						4 591	1,291
32 Максимальное значение		14 415						13 768	16
33 Минимальное значение		0						0	0

В ячейки H2 и I2 вводятся формулы $=E2-((1-J2)/J2)*G2$ и $=E2-2*((1-J2)/J2)*G2$ соответственно. Диапазон C4:C29 содержит фактические еженедельные значения расхода в первом полугодии выбранного года. В ячейки диапазонов D5:D29 и E5:E29 занесены

зависимости экспоненциального сглаживания второго порядка ($D5=J\$2*C5+(1-J\$2)*D4$ и так далее; $E5=J\$2*D5+(1-J\$2)*E4$ и так далее). В ячейки диапазона F5:F29 занесены формулы $F5=2*D4-E4$ и т.д., в ячейки диапазона G5:G29 – формулы

$G5=(J\$2/(1-J\$2))*D4-(J\$2/(1-J\$2))*E4$ и т.д., в ячейки диапазона H5:H29 – формулы $H5=F5+G5$ и т.д. Абсолютное отклонение (диапазон I5:I29) рассчитывается с помощью функции ABS() ($I5=ABS(C5-H5)$ и т.д.). Диапазон J5:J29 (относительное отклонение) содержит формулу $J5=I5/C5$ и так далее. Ячейки первого периода ссылаются на начальные значения:

$$D4 = J\$2 * C4 + (1 - J\$2) * H2,$$

$$E4 = J\$2 * D4 + (1 - J\$2) * I2,$$

$$F4 = 2 * H2 - I2,$$

$$G4 = (J\$2 / (1 - J\$2)) * H2 - (J\$2 / (1 - J\$2)) * I2,$$

$$C4 = 0, I4 = 0, H4 = 0.$$

В качестве критерия оптимизации коэффициента сглаживания принимается минимальное среднее значение относительного отклонения (ячейка J31). В качестве пробного значения в ячейку J2 вводится число 0,5. Выполняется процедура Поиск решения для константы сглаживания, которая минимизирует значение в ячейке J31 (рис. 6.4)

Рис. 6.4. Диалоговое окно Поиск решения для расчёта методом Холта

В результате выполнения процедуры определяется константа сглаживания, минимизирующая среднее абсолютное отклонение $\alpha = 0,62398$ (близкое к стандартному значению $\alpha = 0,5$).

Microsoft Excel позволяет создавать оптимизационные модели управления запасами. Расчёт оптимального размера заказа в условно-детерминированной фазе процесса поставок и поддержания запасов региональным предприятием логистического аутсорсинга представлен в таблице 6.14. Расход за год (C1) спланирован. Порядок расчёта значений p , k и h (ячейки C2, C3 и C4) описан в пункте 6.2. Оптимальный размер заказа q^* (ячейка C5) определяется либо по формуле $=\text{СТЕПЕНЬ}((2*C3*C1)/C4;0,5)$, либо с помощью процедуры Поиск решения.

Таблица 6.14. Расчёт оптимального размера заказа для ресурса 1 в условно-детерминированной фазе процесса поставок и поддержания запасов

	А	В	С
1	Годовой расход (тонны)	d	404
2	Цена 1 тонны	p	\$ 700
3	Издержки на размещение заказа	k	\$ 5
4	Годовые затраты на хранение 1 т.	h	\$ 80
5	Оптимальный размер заказа (тонны)	q^*	7.11
6	Годовые затраты на хранение	$0.5q^*h$	\$ 284.41
7	Годовые затраты на размещение заказов	$(d/q^*)k$	\$ 284.41
8	Количество заказов в течение года	d/q^*	56.88
9	Интервал заказа (дни)	$(q^*/d)*365$	6.42
10	Общие годовые расходы	TC	\$ 283 684

Во втором случае в качестве целевого параметра, который нужно минимизировать, выбираются Общие годовые расходы TC (ячейка C10), а в качестве изменяемого параметра – оптимальный размер заказа q^* (ячейка C5); диалоговое окно процедуры выглядит так же, как показано на рис. 6.4. Как и должно быть при оптимизации размера заказа, значения в ячейках C6 и C7 равны. Соотношения в ячейках B6:B9 указывают на

формулы, введённые в ячейки C6:C9. Ячейка C10 содержит формулу $=C1*C2+C6+C7$. Таким же способом определены оптимальные размеры заказа на второе полугодие для ресурсов 2, 3, 4, 5 (таблица 6.12).

Коэффициент отклонения расхода (п. 6.2) пяти артикулов группы «А» в 2006 и 2007 годах был высчитан арифметическими средствами Excel и превысил 20% на 01.01.08. В первом полугодии процесс поставок и поддержания запасов находился в стохастической устойчивой фазе, что предполагает нормальное распределение СВ – расход со склада, которое было проверено статистическими средствами Excel (таблица 6.15). С помощью соответствующих функций Excel определяются основные параметры рассматриваемого массива данных: среднее значение в ячейке B2 ($=\text{СРЗНАЧ}(A2:A105)$), стандартное отклонение в ячейке B3 ($=\text{СТАНДОТКЛОН}(A2:A105)$), максимальное значение в ячейке B4 ($=\text{МАКС}(A2:A105)$), минимальное значение в ячейке B5 ($=\text{МИН}(A2:A105)$).

Таблица 6.15. Проверка распределения СВ «расход ресурса 1» в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
1	Еженедельн. расход в кг	Данные	Интервал	Частота	Частота (%)	Кумулятивная частота (%)	Теоретическая частота (%)
2	0	10 790	5 000	41	39%	39%	30%
3	6 644	10 590	10 000	22	21%	61%	48%
4	0	48 144	15 000	12	12%	72%	66%
5	12 716	0	20 000	8	8%	80%	81%
6	648		25 000	10	10%	89%	91%
7	25 801		30 000	4	4%	93%	97%
8	2 423		35 000	3	3%	96%	99%
9	7 290		40 000	2	2%	98%	100%
10	0		45 000	1	1%	99%	100%
11	9 676		50000	1	1%	100%	100%
12	6 466			104	100%		
13	11 364						

105	17 277						
106	Ежегодный расход в т (1999 - 2007)	Данные	Интервал	Частота	Частота (%)	Кумулятивная частота (%)	Теоретическая частота (%)
107	324	438.39	200	0	0%	0%	1%
108	381	99.75	400	3	33%	33%	35%
109	395	682.48	600	5	56%	89%	95%
110	417	324.00	800	1	11%	100%	100%
111	468			9	100%		
112	423						
113	437						
114	682						
115	418						

Для проверки характера частотного распределения случайной величины данные разбиваются на условные интервалы (диапазон C2:C11). С помощью функции ЧАСТОТА ($\{=\text{ЧАСТОТА}(\text{A2:A105}; \text{C2:C11})\}$) определяется частота реализаций случайной величины в пределах каждого интервала, (функция ЧАСТОТА вводится в диапазон D2:D11). В ячейках диапазонов E2:E11 и F2:F11 программируются действия, позволяющие определить процентную частоту и кумулятивную процентную частоту. В каждую ячейку диапазона G2:G11 вводится функция НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ. Например, G2 содержит запись $=\text{НОРМРАСП}(\text{C2}; \text{\$B\$2}; \text{\$B\$3}; 1)$, далее изменяется только первый аргумент – значение интервала. Сравнение значений в диапазонах F2:F11 и G2:G11 позволяет проверить соответствие характера распределения случайной величины нормальному. Точно так же определяется характер распределения ежегодного расхода (значения – в диапазоне A107:A115, расчёт – в диапазоне B107:G110).

Модели стохастической устойчивой фазы процесса поставок и поддержания запасов программируются так, как показано в таблицах 6.16 –

6.18. В ячейку C1 вводится среднее значение диапазона A107:A115: $=\text{СРЗНАЧ}(\text{A107:A115})$, а в ячейку C7 – стандартное отклонение этого же диапазона $=\text{СТАНДОТКЛОН}(\text{A107:A115})$. Пояснения к значениям, занесённым в ячейки C2:C5, содержатся в комментарии к таблице 6.14. Содержание показателя c_b (ячейка C6) объяснено в пункте 6.2.

Таблица 6.16. Расчёт точки заказа и неснижаемого запаса в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов, дефицит не приводит к потере сбыта

	A	B	C
1	Средний годовой расход (т)	m_d	438
2	Издержки на размещение заказа	k	€ 5
3	Годовые затраты на хранение 1 т.	h	€ 80
4	Оптимальный размер заказа (т)	q^*	7,40
5	Количество заказов в течение года	d/q^*	59
6	Вменённые потери на дефицит 1 т	c_b	€ 70
7	Стандартное отклонение годового расхода	σ_d	99,75
8	Средний срок поставки (часть от года)	l	0,0192308
9	Стандартное отклонение срока поставки	σ_l	0
10	Расход в течение срока поставки (т)	y	8,4295919
11	Стандартное отклонение расхода в течение срока поставки	σ_y	13,832272
12	Вероятность дефицита	$p(y \geq r^*)$	0,0192993
13	Точка заказа (т)	r^*	37
14	Неснижаемый запас (т)	SS	29

Средний срок поставки (C8) – одна неделя или 1/52, при этом отклонение срока практически не возникает или пренебрежимо мало (эффективно организован транспортный поток) и в ячейку C9 заносится 0. Для определения такой величины r , которая с вероятностью $1-p(y \geq r^*)$ будет соответствовать расходу за период поставки, в ячейке C13 использована функция обратного нормального распределения: $=\text{ОКРУГЛ}(\text{НОРМОБР}(1-\text{C12}; \text{C10}; \text{C11}); 0)$. Неснижаемый запас (C14): $=\text{ОКРУГЛ}(\text{C13}-\text{C10}; 0)$.

Модель управления запасом на случай потери сбыта из-за дефицита в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов (таблица 6.17) программируется так же, но в ячейку C12 заносится выражение: $=\text{МИН}(0,999999;(C3*C4)/(C1*C6+C3*C4))$ Значительные издержки от потери сбыта одной тонны (C6) вынуждают существенно увеличивать точку заказа (C13) и неснижаемый запас (C14). Показанные в таблицах 6.16 и 6.17 модели позволяют, внося соответствующие изменения в ячейку C9, определять значения r^* и SS в случае колебаний срока поставки.

Таблица 6.17. Расчёт точки заказа и неснижаемого запаса ресурса 1: случай потери сбыта из-за дефицита в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов

	A	B	C
1	Средний годовой расход (т)	m_d	438
2	Издержки на размещение заказа	k	\$ 5
3	Годовые затраты на хранение 1 т.	h	\$ 80
4	Оптимальный размер заказа (т)	q^*	7.40
5	Количество заказов в течение года	d/q^*	59
6	Вменённые издержки на потерю сбыта 1 т	c_{ls}	\$ 350
7	Стандартное отклонение годового расхода	σ_d	99.75
8	Средний срок поставки (часть от года)	l	0.019231
9	Стандартное отклонение срока поставки	σ_l	0
10	Расход в течение срока поставки (т)	y	8.430626
11	Стандартное отклонение расхода в течение срока поставки	σ_y	13.85277
12	Вероятность дефицита	$p(y \geq r^*)$	0.003845
13	Точка заказа (т)	r^*	45
14	Неснижаемый запас (т)	SS	37

Вменённые издержки на дефицит и/или на потерю сбыта 1 тонны подразумевают сложные и не всегда точные расчёты (пункт 6.2). Поэтому, для ресурсов группы «А» на фокусном предприятии был установлен уровень поддержки 98%. С помощью модели, представленной в таблице 6.18, рассчитываются неснижаемый запас и точка заказа, соответствующие любому заданному уровню поддержки.

Таблица 6.18. Расчёт точки заказа и неснижаемого запаса ресурса 1 для заданного уровня поддержки в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов

	A	B	C
1	Уровень поддержки	SL	0,98
2	Издержки на размещение заказа	k	€ 5
3	Годовые затраты на хранение 1 т.	h	€ 80
4	Средний годовой расход (т)	m_d	438
5	Оптимальный размер заказа (т)	q^*	7,40
6	Количество заказов в течение года	d/q^*	59,22
7	Стандартное отклонение годового расхода	σ_d	99,75
8	Средний срок поставки (часть от года)	l	0,0192
9	Стандартное отклонение срока поставки	σ_l	0
10	Расход в течение срока поставки (т)	m_y	8,43
11	Стандартное отклонение расхода в течение срока поставки	σ_y	13,83
12	Точка заказа (т)	r^*	34,88
13	Стандартизованная точка заказа	r_{st}	1,912
14	Вероятность потерь для нормированной точки заказа	$NL(r_{st})$	0,010702
15	Неснижаемый запас (т)	SS	26,45348
16	Стандартизованный ожидаемый дефицит в течение цикла	$m(B_r)_{st}$	0,010703
17	Проверка	$diff$	8,0274E-07

Уровень поддержки (C1) выбирается ЛПП предприятия. Порядок заполнения ячеек C2, C3, C4, C9 и вычисления значений в ячейках C5, C6, C7, C8, C10, C11, C15 описан выше в комментариях к расчётам¹. Точка заказа (C12) вычисляется при помощи процедуры «Поиск решения», которая изменяет значение r^* до тех пор, пока процент своевременно удовлетворённого спроса не придёт в соответствие с заданным уровнем поддержки. Диалоговое окно «Поиск решения» показано на рис. 6.5. В ячейку C13 вносится зависимость $=(C12-C10)/C11$ в соответствии с определением стандартизованной точки заказа. В ячейке C14 содержится

¹ Номера ячеек разных моделей могут не совпадать, и соответствие параметров между схемами определяется названиями в столбце A и обозначениями в столбце B.

расчёт нормальной функции потерь для данной нормированной точки заказа, что соответствует левой части уравнения (6.43): $=\text{НОРМРАСП}(C13;0;1;0)-C13*(1-\text{НОРМСТРАСП}(C13))$ ¹.

Неснижаемый запас в ячейке C15 рассчитывается либо как разность $=C12-C10$, либо, по определению нормальной функции потерь, как произведение $=C13*C11$.

Рис. 6.5. Диалоговое окно «Поиск решения» для расчёта точки заказа, соответствующей заданному уровню поддержки в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов

В ячейку C16 вводится правая часть уравнения (6.43): $=C5*(1-C1)/C11$. В ячейке C17 проверяется точность вычислений: $=\text{ABS}(C14-C16)$. В соответствии с уравнением (6.43) в окно процедуры «Поиск решения» (рис. 6.5) вводится ограничение $\$C\$14 = \$C\16 . Процедура

¹ Из определения нормальной функции потерь, данного профессором Уинстоном [5], следует, что $NL(r_{st})$ есть разность значения нормальной стандартизованной функции в точке r_{st} и произведения r_{st} на $p(NL(r_{st}, 0, 1)) \geq r_{st}$. В терминах Excel эта запись выглядит так, как она занесена в ячейку C14. Многие пособия по исследованию операций содержат нормальную функцию потерь в виде таблицы.

позволяет вычислять точку заказа для любого заданного уровня поддержки. Пример результата таких вычислений для исходных данных таблицы 6.18 представлен в таблице 6.19.

Таблица 6.19. Значения точки заказа и неснижаемого запаса ресурса 1 для различных уровней поддержки в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов

	A	B	C
1	Уровень поддержки	Точка заказа (т)	Неснижаемый запас (т)
2	0.75	19	10
3	0.80	20	12
4	0.85	23	14
5	0.90	25	17
6	0.95	30	21
7	0.99	38	30

Подобные таблицы позволяют ЛПР оценивать издержки, связанные с установлением того или иного уровня поддержки. Переход от 75-процентного уровня поддержки к 99-процентному увеличивает точку заказа на 100%, а неснижаемый запас на 200% (таблица 6.19).

В пункте 6.2 представлена модель синхронизации отгрузок нескольких артикулов в одно транспортное средство для экономии транспортных и таможенных расходов. Реализация этой модели для пяти наименований группы «А» средствами Microsoft Excel показана в таблице 6.20.

Таблица 6.20. Расчёт синхронизированных интервалов заказа пяти наименований с различными оптимальными размерами заказа в условно-детерминированной фазе процесса поставок и поддержания запасов

	A	B	C	D	E	F	G
1	Наименование		Арт. 1	Арт. 2	Арт. 3	Арт. 4	Арт. 5
2	Оптимальный размер заказа (т)	q^*	7,11	3,38	6,18	4,78	4,13
3	Интервал заказа (дни)	$(q^*/d)*365$	6,42	13,56	7,37	9,53	11,08
4	Выражение	$2^m*\sqrt{2}$	5,6569	11,3137	5,6569	11,3137	11,3137

Продолжение табл. 6.20

	A	B	C	D	E	F	G
5	Разность	<i>diff</i>	0,7668	2,2434	1,7147	1,7798	0,2295
6	Дробная часть показателя степени	0.5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
7	Целая часть показателя степени	<i>m</i>	2	3	2	3	3
8	Синхронизированный интервал заказа (дн)	<i>t</i> *	4	8	4	8	8

Заполнение ячеек в диапазоне C2:G3 не требует пояснений. Значения годового расхода d для каждого из пяти артикулов представлены в таблице 6 Приложения к Главе 6. В ячейках диапазона C4:G4 программируется выражение – критерий синхронизации. Например, C4 =СТЕПЕНЬ(2;C7+C6). В ячейках пятой строки рассчитывается разность, например C5 =ABS(C3-C4). Дробная часть показателя степени неизменна, а его целая часть определяется в строке 7 с помощью процедуры «Поиск решения» (рис. 6.6 на примере ячеек столбца C). В ячейках C8:G8 определяется искомый синхронизированный интервал. В ячейку C8 введена формула =СТЕПЕНЬ(2;C7), в ячейку D8 введена формула =СТЕПЕНЬ(2;D7) и так далее.

Рис. 6.6. Диалоговое окно «Поиск решения» для расчёта целой части показателя степени в расчёте синхронизированного интервала заказа в стохастической устойчивой фазе процесса поставок и поддержания запасов