



УДК 528.48

Анатолий ПОЗНЯК,
доцент кафедры
инженерной геодезии
УО «Белорусский национальный
технический университет»,
кандидат технических наук

Об опыте автоматизированного проектирования выборочной вертикальной планировки мелиорируемых участков

Обоснована методика и рассмотрены основные этапы проектных работ при автоматизированном составлении планов организации рельефа и земляных масс. На конкретном мелиорируемом участке местности площадью более 22 га выполнены преобразование рельефа под систему наклонных плоскостей с заданными проектными уклонами, подсчет объемов земляных масс с обеспечением их баланса в выемках и насыпях, компьютерное оформление планов организации рельефа и земляных масс. Приведенные алгоритмы, формулы и ссылки на программы позволяют автоматизировать расчеты при вертикальной планировке незастроенных участков и оценить технико-экономические показатели различных проектных вариантов

Введение. Под проектом вертикальной планировки понимают технический документ, предусматривающий преобразование рельефа для инженерных целей с учетом различных технических, экономических, гидрологических и других факторов [1]. Для целей мелиорации земель различают строительную (капитальную) и эксплуатационную (предпосевную) планировки. Последнюю выполняют обычно длиннобазовыми планировщиками, когда глубина срезки почвы не превышает 20-25 см. Строительную планировку проводят, когда необходимо срезать бугры или засыпать впадины и другие замкнутые понижения рельефа глубиной более 25 см. В этом случае предварительно снимают плодородный слой почвы, буртуют его и после выравнивания поверхности возвращают на срезанные места.

На участках проведения мероприятий по организации поверхностного стока выполняют следующие виды инженерных изысканий: уточнение планово-ситуационной съемки М 1:10000; планово-высотную съемку М 1:2000 в местах вымочек и на переувлажненных участках; культуртехнические, геоботанические и почвенно-мелиоративные изыскания на площади вымочек и на переувлажненных участках; трассирование кюветов, оградительной сети, ложбин, сбросных коллекторов и других линейных сооружений [2, п. 5.22].

Проектирование выборочной вертикальной планировки (далее – ВВП) должно включать в себя несколько вариантов проектных решений, их сравнительные характеристики и выбор наилучшего проектного решения с точки зрения эксплуатационных, строительных и экономических по-



казателей. Оптимальное проектирование вертикальной планировки на топографическом плане стремится выполнить с максимально возможным сохранением естественно сложившихся форм рельефа, соблюдением минимума объемов земляных масс в выемках (срезках) и насыпях и обеспечением минимального расстояния перемещения грунта.

В состав проекта вертикальной планировки включают два рабочих чертежа: план организации рельефа и план земляных масс. При разработке плана организации рельефа естественную поверхность называют *фактической*, а преобразованную – *проектной*. Проектные и фактические отметки наносят на план в виде дроби с проектной отметкой в числителе и фактической – в знаменателе. Разность проектной и фактической отметок называют *рабочей* отметкой. Положительные рабочие отметки определяют высоту насыпи, отрицательные – глубину выемки. Точка, для которой рабочая отметка равна нулю, называется точкой нулевых работ. Геометрическое место этих точек образует линию нулевых работ.

Методика проектирования. Итерационные алгоритмы оптимизации автоматизированного проектирования ВВП с целью ликвидации бессточных участков являются в некотором смысле имитацией действий, составляющих технологию экспериментального проектирования вручную с использованием опыта проектирования, опубликованного в [3, 4]. Программное обеспечение разработано на алгоритмическом языке Фортран с использованием его графических приложений.

Исходная топографическая поверхность участка представляется для проектирования матрицей фактических отметок центров квадратов. Длины сторон квадратов составляют 20 м. Если участок в плане имеет отличную от прямоугольной форму, он достраивается до прямоугольной, при этом дополнительным точкам присваиваются нулевые отметки. В файле исходных данных указываются: размер матрицы фактических отметок по столбцам и строкам, предельно допустимые проектные минимальные и максимальные (поперечные – по строкам и продольные – по столбцам) уклоны поверхности и минимальные рабочие отметки выборочной планировки. Фрагмент файла исходных данных приведен на рисунке 1, где в первой строке указаны размеры матрицы фактических отметок (21×27), минимальный проектный уклон в промиллях (2), минимальные рабочие отметки в см (20). В последующих строках приведены фактические отметки центров двадцатиметровых квадратов, полученные с топографического плана и выраженные в дециметрах.

Преобразование рельефа с целью выравнивания поверхности выполняется системой наклонных плоскостей, размеры которых принимаются равными размерам укрупненных квадратов со сторонами 60 м.

```

21 27 2 20
50 52 52 51 52 61 56 57 52 53 52 45 48 46 39 41 56 51 51 53 51
54 50 48 50 47 52 45 40 52 59 42 39 40 43 37 35 32 31 31 32 56
50 50 49 50 44 44 41 42 50 51 39 40 39 37 36 36 33 32 38 48 54
.....
45 35 40 41 35 35 36 35 34 34 35 35 39 44 47 45 44 47 52 58 65
50 49 49 48 35 35 40 46 40 37 38 48 41 43 45 50 50 53 55 56 65
    
```

Рисунок 1 – Фрагмент файла исходных данных

Используемые формулы. На первом этапе проектирования вычисляются средние отметки центров тяжести укрупненных квадратов, характерной особенностью которых является то, что проведенные через них любые плоскости (кроме вертикальных) позволяют получать баланс объемов земляных масс в выемках и насыпях. Минимум объемов земляных работ при средней дальности перемещения грунта, не превышающей размеров сторон укрупненных квадратов, обеспечивается сопряжением проектных плоскостей, проходящих через вычисленные отметки, с помощью существующих уклонов между центрами тяжести квадратов. На втором этапе выполняется сравнительный анализ и корректировка вычисленных отметок с целью ликвидации бессточных участков и обеспечения минимальных проектных уклонов проектных плоскостей. Затем вычисляются проектные отметки центров 20-метровых квадратов по формуле

$$H_{K,L} = \left[\left(H_{i+1,j+1} - H_{i,j+1} \right) - \left(H_{i+1,j} - H_{i,j} \right) \right] \times \left(K - 1 \right) \left(L - 1 \right) / n^2 + \left(H_{i+1,j} - H_{i,j} \right) \times \left(K - 1 \right) / n + \left(H_{i,j+1} - H_{i,j} \right) \left(L - 1 \right) / n + H_{i,j} \quad (1)$$

где $H_{K,L}$ – проектные отметки центров 20-метровых квадратов с номерами по строкам (K) и по столбцам (L), изменяющимися от 1 до $n+1$;

$H_{i,j}, \dots, H_{i+1,j+1}$ – отметки центров тяжести укрупненных квадратов, полученные как средние весовые из соответствующих фактических отметок центров 20-метровых квадратов;

n – число сторон 20-метровых квадратов между центрами тяжести укрупненных квадратов.

Вычисление проектных отметок на границе участка осуществляется по методу экстраполяции с использованием крайних элементов по строкам и столбцам. Площади и объемы выемок и насыпей с заданными минимальными рабочими отметками, превышающими погрешности исходных фактических отметок, определяются по формулам

$$P_{B(H)} = 400N_{B(H)} \quad (2)$$

$$V_{B(H)} = 400\sum h_{B(H)} \quad (3)$$

где $N_{B(H)}$, $\sum h_{B(H)}$ – соответственно количество и сумма рабочих отметок в контурах выемок и насыпей.

Баланс объемов земляных масс выемок и насыпей при ВВП окончательно достигается изменением проектных отметок, как правило, не превышающим 2 см. Результаты проектирования выводятся на принтер в виде схемы со стандартной формой записи рабочих, проектных и фактических отметок центров квадратов со сторонами 20 м. Указываются объемы перемещаемого плодородного слоя почвы, объемы грунта выемок и насыпей, средневзвешенное расстояние перемещения грунта, стоимостные затраты на бульдозерные работы, другие технико-экономические показатели.

Алгоритм проектирования. Основными этапами при ВВП незастроенного участка местности с целью организации поверхностного водостока и обеспечения

баланса объемов земляных масс в выемках и насыпях являются

проверка правильности ввода фактических отметок по абсолютной разности отметок смежных (ближайших) не превышающих заданной величины;

определение средних фактических отметок укрупненных 60-метровых квадратов (отметок центров тяжести);

обеспечение заданных минимальных и максимальных проектных уклонов между центрами укрупненных квадратов посредством изменения отметок при соблюдении их алгебраического равенства;

вычисление проектных и рабочих отметок центров укрупненных квадратов;

вычисление объемов земляных масс выемок и насыпей, дальность перемещения которых превышает 40 м;

введение балансовых поправок;

расчет проектных отметок центров заполняющих 20-метровых квадратов посредством интерполяции и экстраполяции;

окончательный подсчет объемов земляных масс;

определение средневзвешенной дальности перемещения грунта с выемок в насыпи;

определение объема и дальности перемещения плодородного слоя почвы;

определение предварительной сметной стоимости земляных работ без учета накладных расходов, плановых накоплений и амортизационных отчислений;

вычисление общих и удельных показателей вертикальной планировки.

Отметим, что сметная стоимость земляных работ, которые включают срезку плодородного слоя почвы с перемещением во внешние отвалы, разработку грунта в выемках с перемещением его в насыпи, разравниванием грунта и т.д., зависит в основном от того, какими машинами вы-

полняются эти работы. Машины (бульдозеры, скреперы, грейдеры, планировщики) выбираются в соответствии с объемом, механическим составом и влажностью грунта, со сложностью рельефа, размером планируемой площадки, дальностью транспортировки грунта и т.д. Сметная стоимость земляных работ S по перемещению грунта V_B с выемок в насыпи бульдозером в программе выражается следующей формулой

$$S = V_B (K_1 + [(D_{cp} - 10)/10] \times K_2), \quad (4)$$

где K_1 – сметная стоимость перемещения грунта на 10 м;

K_2 – сметная стоимость перемещения грунта на последующие 10 м;

D_{cp} – средневзвешенное расстояние перемещения грунта с выемок в насыпи.

Алгоритмы разработанной программы являются в некотором смысле имитацией действий, составляющих технологию ручного проектирования. В результате вычислений по программе получают

план организации рельефа в виде таблицы со стандартной формой записи рабочих, проектных и фактических отметок центров 20-метровых квадратов с указанием номеров строк и столбцов (рисунок 2);

план земляных масс с указанием объемов выемки или насыпи в каждом квадрате и суммарными объемами по строкам и столбцам (рисунок 3);

основные технико-экономические показатели проекта, включающие средневзвешенное расстояние перемещения грунта с выемок в насыпи, объем восстанавливаемого на поверхности плодородного слоя почвы, сметную стоимость земляных работ (рисунок 4).

П Л А Н О Р Г А Н И З А Ц И И Р Е Л Ь Е Ф А																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1.50	-1.51	0.51	1.52	0.52	-10.51	-7.49	-9.48	-5.46	-7.45	-7.44	-3.42	-8.40	-8.37	-2.37	-4.36	-20.36	-12.39	-9.41	-9.44	-4.46
	50	52	52	51	52	61	56	57	52	53	52	45	48	46	39	41	56	51	51	53	51
2	-3.50	0.50	2.50	0.49	2.49	-4.48	2.47	6.46	-7.45	-15.44	2.43	3.41	0.39	-5.38	1.37	2.37	5.36	9.39	12.42	13.45	-8.48
	54	50	48	50	47	52	45	40	52	59	42	39	40	43	37	35	32	31	31	32	56
3	1.50	-1.49	-1.48	-3.47	2.46	2.45	4.44	2.44	-6.43	-8.43	4.42	1.41	1.39	1.38	2.38	2.37	4.37	8.40	5.43	-2.46	-4.49
	50	50	49	50	44	44	41	42	50	51	39	40	39	37	36	36	33	32	38	48	54
4	5.50	-2.48	-1.46	-4.44	-2.43	-1.42	3.42	0.42	1.42	1.41	2.41	1.40	3.39	0.38	-1.38	-3.38	0.37	9.41	5.44	-4.47	-5.51
26	0.44	8.42	1.40	-2.38	2.36	1.36	0.35	0.35	1.35	1.35	0.35	2.36	0.38	-4.40	-5.42	-1.44	2.46	3.50	2.54	0.57	-3.61
	45	35	40	41	35	35	36	35	34	34	35	35	39	44	47	45	44	47	52	58	65
27	-1.49	-3.46	-5.43	-7.40	3.38	2.37	-4.36	-10.35	-5.35	-2.35	-3.34	-11.37	-2.39	-1.41	-1.43	-4.45	-2.47	-2.51	0.55	3.59	-2.63
	50	49	49	48	35	35	40	46	40	37	38	48	41	43	45	50	50	53	55	56	65

Рисунок 2 – Компьютерная распечатка фрагмента плана организации рельефа

П Л А Н З Е М Л Я Н Ы Х М А С С , М ²																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
1	-4904	0	0	0	0	0	0	-396	-260	-360	-204	-288	-296	-112	-320	-332	0	-168	-784	-476	-376	-356	-176
2	-1648	2152	-136	0	0	0	92	-148	88	244	-268	-580	0	108	0	-200	0	88	192	348	460	532	-316
3	-848	1192	0	0	0	-108	88	0	156	88	-252	-312	144	0	0	0	0	168	332	216	0	-176	
4	-740	976	192	-88	0	-164	0	0	104	0	0	0	0	108	0	0	-120	0	360	212	-172	-196	
26	-544	536	0	312	0	-88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-144	-184	0	96	128	0	0	-128
27	-2192	332	0	-104	-216	-288	120	84	-140	-416	-184	0	-132	-440	0	0	0	-176	-96	0	0	128	0
	-34416.	3060	2436	3236	1608	676	704	400	956	908	1388	876	976	772	972	1176	1440	3220	1000	376	2608	5628	
	33280.	1012	1780	1088	1420	388	900	1020	2264	1740	2832	2340	2040	2912	1868	1212	816	1604	3272	1624	1148	0	

Рисунок 3 – Фрагмент плана земляных масс (принтерный вариант)



Общая площадь участка планировки – 226800 м²
 Проектные уклоны: мин., макс. попер. и прод. – 2, 28, 21 (‰)
 Минимальные проектные рабочие отметки ВВП – 0,20 м
 Размеры сторон выравнивающих поверхность квадратов – 60 м
 Выемки: площадь – 61200 м², объем – 34416 м³
 Насыпи: площадь – 73200 м², объем – 33280 м³
 Объем перемещаемого грунта выемок с насыпи – 34416 м³
 Объем перемещаемого плодородного слоя почвы – 26880 м³
 Объем, перемещаемый на 40 м, – 13527 м³
 Объем, перемещаемый на > 40 м, – 20889 м³
 Средние рабочие отметки: в выемках – 0,56 м, в насыпях – 0,45 м
 Удельные площади: выемок – 27 %, насыпей – 32 %
 Дальность перемещения грунта выемок в насыпи – 66 м
 Дальность перемещения грунта плодородного слоя почвы – 20 м
 Объем перемещаемого грунта выемок в насыпи на 1 га общей площади – 1517 м³
 Объем перемещаемого грунта плодородного слоя на 1 га общей площади – 1185 м³
 Сметная стоимость земляных работ без учета накладных расходов (в ценах 1991 г.) – 15644,05 руб.
 Удельные затраты на 1 га общей площади – 690 руб./га

Рисунок 4 – Фрагмент основных технико-экономических показателей выборочной вертикальной планировки

Таблица 1 – Вариантные проектные показатели выборочной вертикальной планировки

Номер проектного варианта	1	2	3	4	5	6
Минимальный уклон проектной поверхности, %	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Максимальный уклон проектной поверхности, %	3,5	3,4	2,8	2,4	2,0	2,1
Средние рабочие отметки в выемках/насыпях, см	50/45	52/46	56/45	62/51	67/56	71/62
Дальность перемещения грунта выемок в насыпи, м	48	55	66	72	74	77
Объем сохраняемого плодородного слоя почвы на 1 га общей площади, м ³	907	921	1185	1280	1347	1386
Объем перемещаемого грунта с выемок в насыпи на 1 га общей площади, м ³	1085	1128	1517	1770	2040	2242
Удельные затраты на 1 га общей площади, руб./га (в ценах 1991 г.)	411	458	690	834	969	1079

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геодезия. Термины и определения: ГОСТ 22268-76. – Введ. 01.01.78. – М., Издательство стандартов, 1977. – 32 с.
2. Ремонт мелиоративных систем. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-176-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 44 с.
3. Помелов, С.И. Проектирование оформляющей поверхности с целью выравнивания рельефа участка для полива «Фрегатом» / Землеустройство, планировка сельских населенных пунктов и геодезия // Труды БСХА. – Вып. 32. – Горки: БГСХА, 1977. – С. 89-93.
4. Позняк, А.С. Автоматизированное проектирование выборочной вертикальной планировки мелиорируемых участков / А.С. Позняк, Г.Э. Федосенко // Мелиорация и водное хозяйство. – Минск: Ураджай, 1990. – № 7. – С. 19-24.
5. Позняк, А.С. Алгоритмы и программы автоматизированного проектирования вертикальной планировки незастроенных участков. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по курсу инженерной геодезии для студентов строительных специальностей. – Минск: БНТУ, 2005. – 58 с.

Поступление в редакцию 10.11.2015

A. POZNIAK

ON THE EXPERIENCE OF COMPUTER-AIDED DESIGN OF SELECTIVE GRADING OF THE RECLAIMED AREAS

Grounded methodology and the basic stages of design works for automated planning relief organization and Earth masses. On a particular plot area melioriruemom area of more than 22 hectares terrain transformation are met under a system of inclined planes with specified design biases, counting the volume of Earth masses with their balance in the pits and embankments, making plans for computer topography and excavation of the masses. Given algorithms, formulas and links to the programs automate calculations when vertical planning plots and assess the technical and economic indicators of various design options. ■