

## ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭРОЗИЕЙ ПОЧВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Борьба с эрозией почв должна базироваться на достоверных данных о динамике эрозионных процессов в конкретных природных зонах, что позволит разумно проводить эрозионные мероприятия.

Данные исследований кафедры геодезии Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева показали: определять площади водосборов надо по топографическим картам масштаба 1 : 10 000 и крупнее [1]; масштаб планов для целей проектирования противоэрозионных инженерных сооружений должен быть 1 : 1000—1 : 2000; перенесение проектов в натуру следует выполнять с точностью 0,025—0,027 от длины сооружения или расстояния между ними (запруды) в плане и 0,025 от превышения точек сооружения (валы, лотки, быстротоки) по высоте [2]; наблюдения за плоскостной эрозией на контрольных площадках должны базироваться на нивелировании 2—4-го классов; наблюдать динамику эрозионных процессов по балкам необходимо на точках поперечников, надежно закрепленных, правильно определенных в плане и по высоте нивелированием 4-го класса, отображенных на профиле в масштабах: горизонтальный — 1 : 500, вертикальный — 1 : 100.

Основываясь на изложенном, летом 1972 г. были выполнены геодезические работы на главном массиве землепользования опытной станции по борьбе с эрозией почв площадью 380 га. Этот массив делится балкой Собачий ров (площадь 45 га) на три участка: северный — равнинный, занят производственными постройками и садом; центральный — пересеченный, занят пашней и балкой Собачий ров и юго-западный — равнинный, занят пашней и садом.

Собачий ров с впадающими в него оврагами и балками представляет собой сложную систему. Он сильно расчленяет рельеф местности и опасен в эрозионном отношении. Здесь отмечено колебание высот в пределах 51 метра.



Верхние кромки и частично склоны всей балочной системы облесены, что в совокупности с сильно расчлененным рельефом чрезвычайно затрудняет создание геодезической основы и выполнение съемки.

Перед началом работ были проанализированы имеющиеся съемочные и геодезические материалы, их данные уточнены и дополнены рекогносцировкой на местности.

План теодолитной съемки основного массива землепользования в масштабе 1 : 5000, снятый на основе теодолитных ходов по границе и внутри землепользования, следовало привести в соответствие с современными требованиями и исправить грубые неточности полевой инструментальной съемкой. Отсутствие на плане рельефа совершенно обесценивает этот план, но в совокупности с полевой рекогносцировкой он может быть использован для составления проекта геодезических работ.

Что касается точек теодолитных ходов, то они потеряли свое значение, так как сохранилось четыре знака окружной межи из 80, да и точность теодолитных ходов не позволяет их использовать в качестве самостоятельной основы при площади объекта 380 га.

Проанализировав ранее выполненные работы, мы сделали вывод о необходимости создания плановой и высотной основы с учетом ранее указанных точностей геодезических работ эрозионного назначения, площади объекта, предстоящей крупномасштабной съемки и инженерно-геодезических работ.

Проект создания плановой и высотной основы, а также инженерно-геодезических работ (см. рисунок) составлен на плане землепользования с предрасчетом точностей по всем видам работ и затем уточнен рекогносцировкой на местности.

Мы приведем лишь данные предрасчета точности аналитической сети. Относительная ошибка стороны 107—108 в слабом месте относительно базисов 1 : 13 600. Средняя ошибка положения пунктов 107 и 108, рассчитанная по Г. Е. Сомову [5], при средней квадратической ошибке измерения угла  $\pm 10''$ , средней длине стороны 400 м, числе треугольников равно шести, из двух передач от базисов получилась равной 3,9 см. Отсюда следует, что запроектированная аналитическая сеть по точности удовлетворяет крупномасштабным съемкам масштаба до 1 : 500 и отвечает запросам точности геодезических работ для целей изучения и борьбы с эрозией почв.

Проектом предусматривалось создание высотной основы посредством проложения нивелирных ходов 4-го класса через все точки аналитической сети. Инженерно-геодезические работы должны были быть выполнены в следующем объеме: а) трассирование геоморфологических профилей с севера на юг и с запада на восток через весь массив землепользования с разбивкой пикетажа, инженерно-техническим нивелированием и составлением профилей; б) проложение по балке Собачий ров теодолитного хода с включением в него основных реперов поперечников, разбивка восьми поперечников для стационарных наблюдений с закреплением на них 24 реперов и характерных точек штырями, нивелирование, составление профилей; в) разбивка на двух поперечниках в балке Собачий ров контрольных площадок для наблюдения за количеством отложений смытой почвы; г) съемка восьми поперечников в полосе по 25 м от оси в масштабе 1 : 500 с сечением рельефа через 0,5 м.

Все работы выполнены в точном соответствии с проектом. Так как на Украине подобные работы проведены впервые, опыт их можно использовать в дальнейшем.

Полевые работы начались с рекогносцировки проекта аналитической сети на местности, в результате которой в проект были включены два пункта полигонометрии (на рисунке пункты 101 и 103) и пункт



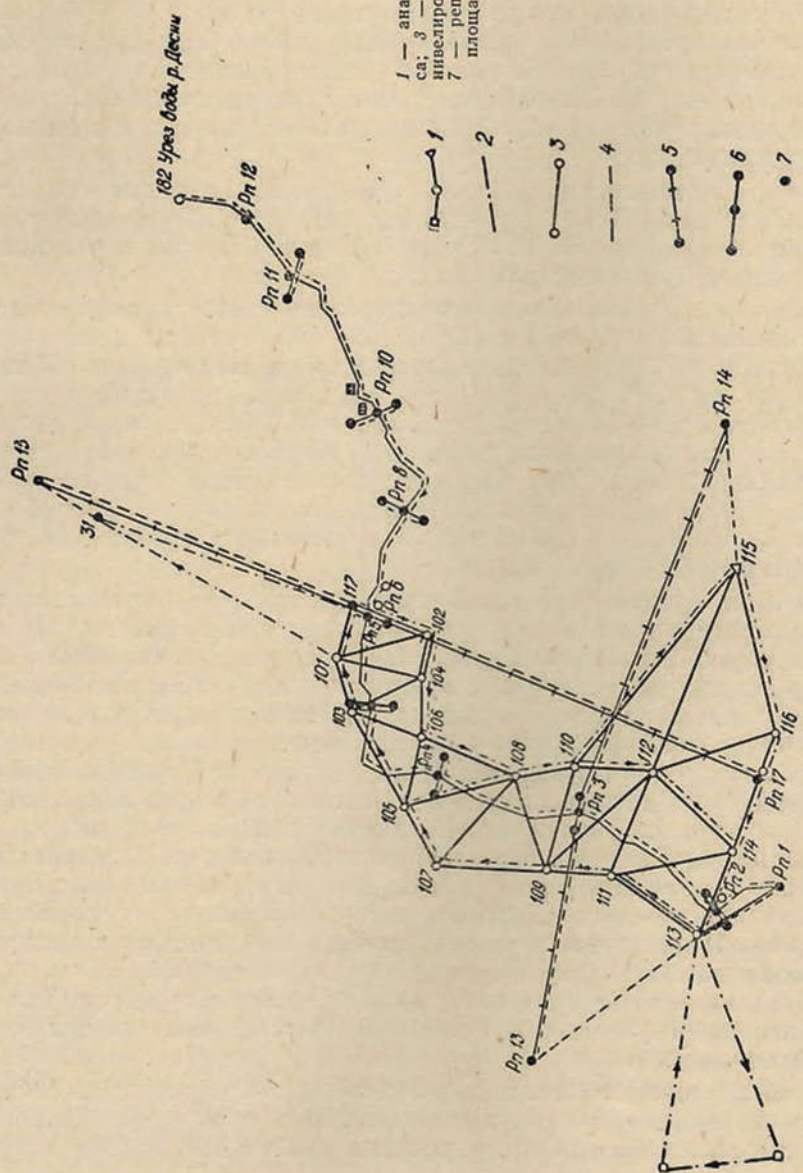
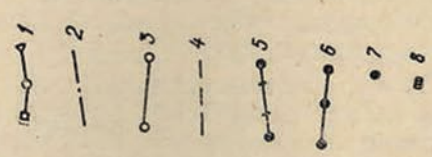


Схема геодезической основы:

- 1 — аналитическая сеть; 2 — нивелирование 4-го класса; 3 — теодолитный ход; 4 — инженерно-техническое нивелирование; 5 — профили; 6 — поперечники балки; 7 — репер на поперечнике, днище балки, профиль; 8 — площадки наблюдений за изменением дна балки.





триангуляции (115) с металлической пирамидой и сохранившимся вторым подземным центром. Наружный центр был затем восстановлен.

В соответствии с проектом выбраны места для пунктов и базисных сторон, сделаны прорубки для установления видимости. Расположение пунктов аналитической сети за кромками и, как правило, на кромках основной балки является характерным для геодезических работ противозрозионного назначения.

Закрепление пунктов аналитической сети и реперов на профилях произведено железобетонными столбами длиной 2 м, закопанными на глубину 1,8 м. Такая глубина закладки позволяет считать закрепленные точки грунтовыми реперами. Отметим, что закладка производилась с использованием широкого бура, что значительно сэкономило время.

Измерение длин базисных сторон выполнено стальной 20-метровой рулеткой, прокомпарированной штриховым метром № 1182 при натяжении с силой 15 кг и фиксацией температуры по термометру в теле метра. Длина стальной рулетки равна 20 м + 2,26 мм при  $t=20^{\circ}\text{C}$ . Длины базисных сторон измерены по кольям с соблюдением допусков § 2, 49 инструкции СН-212-62. Длины базисных сторон получились следующие: 111—113 — 340,399 м с относительной ошибкой 1 : 15 000 и 102—104 — 229,249 м с относительной ошибкой 1 : 55 000.

Угловые измерения на пунктах аналитической сети выполнены малым теодолитом «Wild» № 5503 двумя круговыми приемами с перестановкой лимба между приемами на  $90^{\circ}$ . Наведения производились на вехи, установленные точно над центрами при помощи самоцентрирующегося веходержателя, предложенного А. А. Реминским. Веходержатель представляет собой металлическую трубку длиной 15 см и диаметром 2,5 см, к которой приварены три ножки, расположенные под углом  $120^{\circ}$  и плотно охватывающие стороны бетонного монолита. Если ножки веходержателя воткнуты в землю настолько, что нижний конец трубки соприкасается с поверхностью монолита, то ось трубки совпадает с центром пункта.

В 15 треугольниках аналитической сети получены невязки:  $+7, -15, +10, +2, -4, -7, +11, -13, -37, -1, -15, -12, +38, +7, -2''$ , которые удовлетворяют требованиям § 2,62 инструкции СН-212-62. Средняя квадратическая ошибка измерения угла по невязкам треугольников  $\pm 9''{,}4$ .

Уравновешивание аналитической сети выполнено двухгрупповым способом с отнесением в первую группу условных уравнений фигур треугольников и во вторую — условных уравнений базисов и полюса центральной системы, свободные члены равны  $-118,3$  и  $+30,5$  шестого знака логарифма, при допустимых 129 и 140 единиц.

Из решения нормальных уравнений второй группы:

$$56,092 K_1 - 2,375 K_2 - 118,3 = 0,$$

$$-2,375 K_1 + 27,596 K_2 + 30,5 = 0,$$

определены коррелаты  $K_1 = +2,070$  и  $K_2 = -0,927$  и затем найдены вторичные поправки. По результатам уравнивания вычислены средняя квадратическая ошибка измеренного угла  $\pm 9''{,}5$  и уравненного  $\pm 5''{,}7$ . Первая хорошо согласуется с величиной средней квадратической ошибки по невязкам треугольников.

Поскольку было важно сохранить условную систему координат и ориентировку землепользования опытной станции и проверить качество теодолитных работ землеустройства, поступили так.

На сторону 105—103 аналитической сети был передан азимут от стороны 70—71 окружной межи и на сторону аналитической сети 116—112 от замыкающей межевых знаков 37—42, значения азимутов полу-



числялись соответственно  $63^{\circ}45'43''$  и  $342^{\circ}24'19''$ . От этих азимутов сторон аналитической сети по уравненным углам дважды вычислен азимут стороны 110—108 в взято среднее значение  $346^{\circ}56'48''$ . Расхождение между двумя значениями азимута стороны 110—108 на  $2'29''$  свидетельствует об удовлетворительном качестве землеустроительных работ, если принять во внимание, что точность измерения углов по границе землепользования равна  $1'$  и что передача азимута осуществлена от сторон межи, расположенных в разных частях землепользования.

Координаты точек аналитической сети вычислены в системе землепользования, для этого координаты точки 37 окружной межи переданы на точку аналитической сети 116, расположенной от первой на расстоянии  $16,75$  м.

Чтобы еще раз убедиться в достаточной точности определения положения пунктов аналитической сети с учетом действительных длин сторон треугольников, а не средней, и ошибки измерения углов по результатам уравнивания, произведена сплошная оценка точности положения пунктов графоаналитическим способом, предложенным Г. Е. Сомовым [7], в основе которого лежит формула

$$M = m \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{1}{3} \left( \frac{1}{h_1^2} + \frac{1}{h_2^2} + \frac{1}{h_3^2} \right) \frac{1}{K}},$$

где  $m$  — средняя квадратическая ошибка измеренного угла по результатам уравнивания;  $n$  — число треугольников, примыкающих к оцениваемому пункту;  $h_i$  — высоты инверсионных треугольников, построенных на градиентах направлений;  $K$  — коэффициент, учитывающий влияние условных уравнений, в которые входят треугольники, окружающие данный пункт. Оценку точности выполнил студент В. Кривов и получил следующие данные:

№ пункта	Средняя ошибка, см	№ пункта	Средняя ошибка, см
101	1,3	109	2,2
102	1,4	110	1,7
103	1,6	111	1,7
104	1,0	112	2,0
105	1,6	113	1,4
106	1,3	114	2,0
107	1,6	115	4,0
108	2,0	116	3,2

Эти данные подтверждают ранее сделанный вывод о пригодности аналитической сети в качестве основы для съемок масштаба до  $1:500$  и кроме того, показывают три группы точности положения пунктов в зависимости от длин сторон треугольников.

Высотная геодезическая основа создана проложением нивелирных ходов 4-го класса через все точки аналитической сети с включением репера № 31, заложенного в здании опытной станции, и двух пунктов полигонометрии, расположенных в южной части землепользования у лесополосы вдоль булыжной мостовой (см. рисунок). Из проложенных нивелирных ходов образовалась сеть, включающая четыре полигона с периметрами  $1,71$ ,  $3,41$ ,  $3,88$  и  $2,57$  км. Невязки превышений в полигонах  $+0,5$ ,  $+20,5$ ,  $-6,0$  и  $+27,5$  мм, величины которых удовлетворяют требованиям § 2,95 инструкции СН-212-62. Уравнивание нивелирной сети выполнено по способу полигонов В. В. Попова, а отметки вычислены в условной системе.

Согласно проекту, на местности протрассированы геоморфологические профили от северной до южной границы землепользования и от восточной до западной. Начальная точка первого профиля находится



недалеко от здания опытной станции. Далее трасса профиля проходит через аналитическую точку 117, пересекает балку Собачий ров, совпадая с поперечником на репере 6, поднимается на пахотный массив западнее 14 м аналитической точки 102, следуя по пахотному массиву и совпадая с водоразделом, выходит к южной границе, западнее 119 м аналитической точки 116.

Начальная и конечная точки профиля закреплены железобетонными монолитами, так же как и точки аналитической сети. Вдоль трассы профиля разбит пикетаж через 100 м и отмечены характерные точки рельефа. Конечная точка профиля привязана к точке аналитической сети 116. По разбитому вдоль трассы пикетажу и характерным точкам рельефа проложен ход инженерно-технического нивелирования с невязкой в сумме превышений 10 мм.

Второй профиль из-за особенности местности и необходимости его трассу расположить на водоразделе протрассирован с изломом на поперечнике репера 3 балки Собачий ров. Начальная точка трассы профиля расположена у лесополосы восточной границы землепользования в 132,3 м от пункта аналитической сети 115. От начальной точки трасса профиля проходит под азимутом  $278^{\circ}31'$ , пересекает пахотный массив и выходит на репер 3, затем пересекает балку Собачий ров, делает излом и под азимутом  $253^{\circ}09'$ , совпадая с водоразделом, выходит к западной конечной точке, находящейся на водоразделе у лесополосы плодопитомника третьего участка основного массива землепользования. Конечные точки профиля и точки излома закреплены железобетонными реперами и привязаны к пунктам аналитической сети 115 и 109.

По трассе профиля разбит пикетаж через 100 м и отмечены характерные точки рельефа, по которым проложен ход инженерно-технического нивелирования с невязкой в сумме превышений +5 мм. На основании материалов геодезических работ составлены профили в масштабах: горизонтальный — 1 : 2000 и вертикальный — 1 : 200.

По балке Собачий ров от вершины до устья проложен теодолитный ход, который привязками к точкам аналитической сети 113, 106, 117 и в конце к точке окружной межи колхоза «Украина» расчленен на три части. Точность работ такова:

Ход	Длина км	Количество точек	Угловая невязка	Линейная невязка, м	Относительная ошибка
113—106	2,16	23	—3',0	1,13	1:1900
106—117	1,18	12	+2,5	0,20	1:5900
117—Укр.	1,56	18	—3,0	0,93	1 : 1700

Приведенные характеристики удовлетворяют требованиям § 3,04, 3,05 инструкции СН-212-62.

Реперы поперечников балки Собачий ров закреплены так же, как и точки аналитической сети, остальные точки теодолитных ходов закреплены кольями длиной 50 см. В теодолитный ход включены точки окружной межи землепользования станции 70, 71, 72 и 20. Расхождения координат точек окружной межи по данным землеустройства и вычисленных от аналитической сети характеризуются следующими величинами:

№ точки	$\delta X$ , м	$\delta Y$ , м
70	—0,06	—0,46
71	+0,15	—0,40
72	+0,38	—0,28
20	—0,26	+0,71

Расхождение координат по оси ординат до 0,7 м не может повлиять на вычисление площади основного массива землепользования при предсто-



щем землеустройстве, так как его площадь 380 га, и при вычислении площади допустимо округлять координаты до целых метров. Однако для предстоящей съемки землепользования в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 0,5 м уточнение координат точек окружной межи посредством привязки к точкам аналитической сети будет иметь несомненное значение, так как предельные ошибки положения точек окружной межи не должны превышать точности масштаба съемки.

По точкам теодолитного хода проложен ход инженерно-технического нивелирования и получена невязка в сумме превышений 48 мм. На основании материалов теодолитных и нивелирных работ составлен продольный профиль балки Собачий ров в масштабах: горизонтальный — 1 : 5000 и вертикальный — 1 : 500.

На закрепленных реперах по днищу балки Собачий ров разбиты поперечники с обозначением характерных точек рельефа склонов металлическими штырями длиной 60 см, диаметром 10 мм с приваренными внизу металлическими пластинами, которые препятствуют оседанию штырей, выступающих на 2—5 см над поверхностью земли. Конечные точки поперечников закреплены железобетонными реперами. Расстояния между закрепленными точками на поперечниках измерены стальной рулеткой, конечные точки поперечников привязаны к реперу днища полярным способом с контролем измерения расстояния из решения треугольника от стороны теодолитного хода. Отметки закрепленных точек на поперечниках определены инженерно-техническим нивелированием. Горизонтальные проложения между закрепленными точками поперечников вычислены по формуле

$$d = \sqrt{S^2 - h^2},$$

где  $S$  — наклонное измеренное расстояние;  $h$  — превышение между точками, полученное нивелированием.

На основе координат и отметок закрепленных точек поперечников произведена съемка в масштабе 1 : 500 с сечением рельефа через 0,5 м в полосе по 25 м от оси поперечника. На планшете съемки каждого поперечника построен профиль в масштабах: горизонтальный — 1 : 500 и вертикальный — 1 : 100.

На поперечнике репера 10 разбиты площадки размером 18×3,2 м. Вдоль длинных сторон через 2 м заложены штыри длиной 1,1 м. Отметки штырей определены инженерно-техническим нивелированием. Для наблюдений за смытыми почвами и изменением днища балки предложена методика наблюдений и подсчета объема земляных масс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журавель И. В. Точность определения водосборных площадей по планам и картам масштаба 1 : 10000 и 1 : 25000 при проектировании противозерозийных гидротехнических сооружений. — «Тр. Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева», 1970, т. 140.
2. Журавель И. В. Разбивочные работы противозерозийных гидротехнических сооружений и их точность. «Тр. Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева», 1972, т. 154.
3. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000, М. Геодезиздат, 1955.
4. Инструкция СН-212, М., 1962.
5. Сомов Г. Е. Градиенты и линии положения в геодезии. — «Тр. Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева», 1967, т. 53(90).
6. Сомов Г. Е. Графоаналитический способ оценки точности положения узловых точек в сетях теодолитных ходов. — «Тр. Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева», 1971, т. 148.
7. Сомов Г. Е., Сурков А. З. Графоаналитический способ оценки точности положения пунктов в проектируемых сетях триангуляции. — «Тр. Харьковского СХИ им. В. В. Докучаева», 1970, т. 94(131).

Работа поступила в редакцию 1 июня 1973 года. Рекомендована кафедрой геодезии Харьковского сельскохозяйственного института.