

# ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

## СОЗДАНИЕ УЧЕБНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ АГРАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА РУДН

**П.А. Докукин, Ф.М. Исроилова,  
И.А. Кеворков, Г.Г. Нагапетян**

Агроинженерный департамент  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198*

В данной статье рассматривается проект учебной геодезической сети, создаваемой для нужд учебных и производственных практик студентов Аграрно-технологического института РУДН. Приведены результаты реализации проектных решений в Луховицком районе Московской области.

**Ключевые слова:** геодезическая сеть, спутниковые наблюдения, точность, учебная практика, центр пункта, спутниковые приемники, обработка результатов наблюдений, уравнивание, рекогносцировка, проектирование геодезических сетей, базовая станция.

### ПРОЕКТ УЧЕБНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Спутниковые геодезические наблюдения входят в обязательные разделы геодезии, которые изучают в Аграрно-технологическом институте РУДН, поэтому в проектируемую учебную сеть обязательно должны быть включены специально оборудованные пункты для производства таких наблюдений.

Текстовая часть проекта включала: краткую характеристику физико-географических и климатических условий района работ, влияющих на организацию и проведение спутниковых определений; сведения о состоянии пунктов геодезической сети на данной территории; сведения о назначении проектируемых работ; описание применяемой аппаратуры для выполнения спутниковых наблюдений; порядок обработки результатов спутниковых наблюдений; проектируемые схемы построений, их обоснование.

Перед составлением проекта учебной геодезической сети был осуществлен сбор и анализ материалов всех ранее выполненных работ по триангуляции, нивелированию и построению спутниковых геодезических сетей в данном районе. После изучения перечисленных материалов была выполнена рекогносцировка объекта, по данным которой технический проект был уточнен и дополнен.

Изначально было известно, что на территории района вдоль реки Осетр расположены пункты геодезической сети научно-учебной базы «Горное» Государст-

венного университета по землеустройству. В результате они были найдены и обследованы. Для нахождения центров найденных пунктов в дальнейшем они были нанесены на схему рекогносцировки, закоординированы с помощью навигатора. Также было составлено их описание.

Так как на точность спутниковых наблюдений влияет ряд факторов, возникающих из-за воздействия атмосферных явлений и солнечной радиации на параметры спутниковых сигналов, ухода часов спутников и т.п. Ошибки, вызванные указанными факторами, можно уменьшить, применив дифференциальную коррекцию с использованием базовой станции, установленной в точке с известными координатами. С помощью такой базы можно вычислять корректирующие значения погрешностей, возникающих в дальномерных спутниковых сигналах.

Настоящий проект предусматривает закрепление и определение пространственного положения базовой станции «Сатурн», предназначенной для геодезической привязки учебной геодезической сети к пунктам существующей геодезической сети и постоянно действующим пунктами спутниковых наблюдений.

Пункт «Сатурн» планирует использоваться также как постоянно действующая дифференциальная базовая станция при проведении топографических и контурных съемок, межевания, инженерно-геодезических работ, создании плано-высотной опоры для трансформирования аэро- и космических снимков и т.д.

Была использована специальная конструкция центра пункта, разработанная в работе [1], изготовленная и закрепленная на крыше здания базы «Сатурн» (рис. 1).



**Рис. 1.** Конструкция базовой станции «Сатурн»

Конструкция представляет собой жестко закрепленную на чердаке и крыше металлическую трубу, снабженную устройством принудительного центрирования для приемника. С помощью специального кабеля, проведенного через окно, приемник будет соединен с персональным компьютером и источником постоянного электропитания, расположенными в специально оборудованном помещении.

Согласно опыту, описанному в [2], для мониторинга возможных перемещений базовой станции на местности вблизи базовой станции была закреплена треугольная контрольная сеть (рис. 2). Пункты контрольной сети представляют собой отрезки арматуры длиной 50 см, зацементированные в грунт.

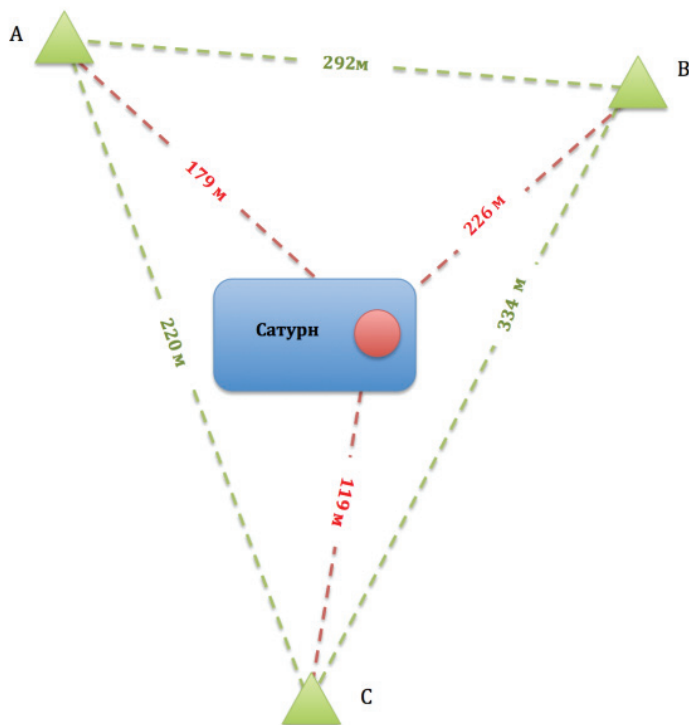


Рис. 2. Контрольная сеть

В течение пяти недель каждый день на контрольной сети и базовой станции «Сатурн» предполагались синхронные спутниковые наблюдения.

Для связи базовой станции «Сатурн» с пунктами существующей геодезической сети, с учетом результатов рекогносцировки, в проект были включены синхронные спутниковые наблюдения на пунктах Водокачка, 9693, 0541, 6027, Ковыльная (рис. 3).

Проектом предусмотрены одновременные наблюдения на всех пунктах сети, для чего должно быть задействовано шесть двухчастотных приемников (так как расстояния не превышают 20 км, допустимо использовать одночастотные приемники).

Наблюдения должны быть выполняться раз в неделю — в течение пяти недель. День наблюдений должен включать по сеанса. Минимальная продолжительность сеанса спутниковых наблюдений на каждом пункте определялась в зависимости от удаленности этого пункта базовой станции «Сатурн» (табл. 1).

К спутниковым измерениям на пунктах геодезической сети научно-учебной базы были применены требования, обобщенные в табл. 2.

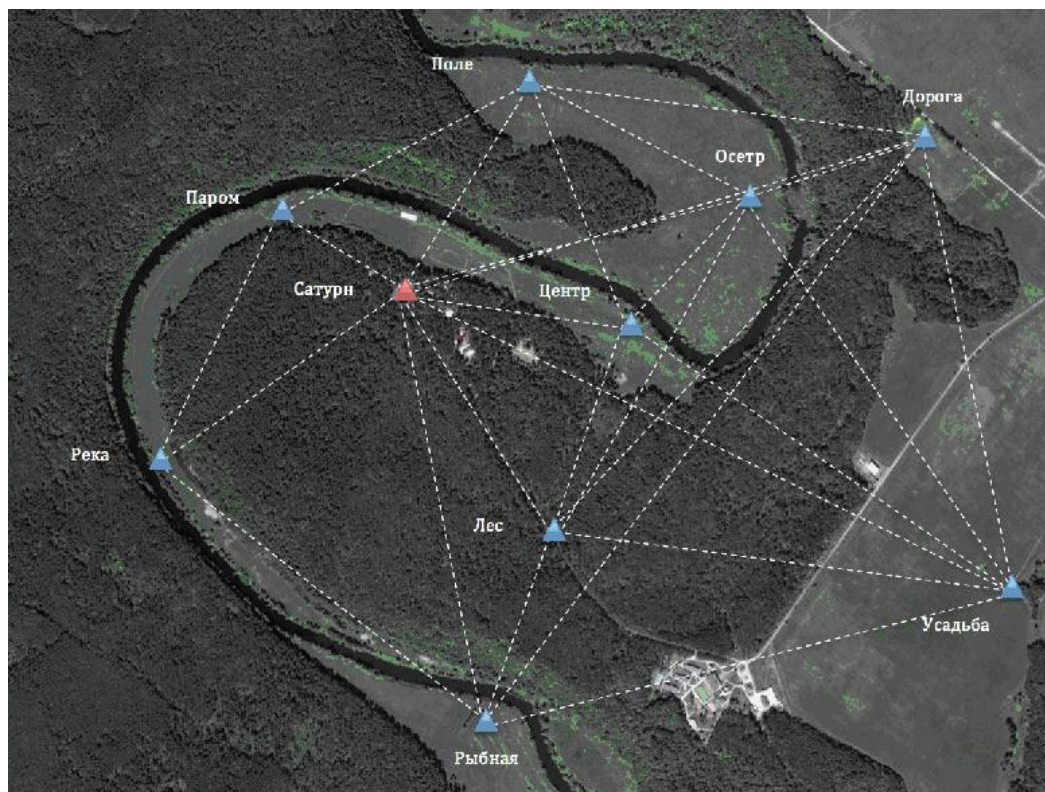


Рис. 3. Схема развития учебной геодезической сети

Таблица 1

**Зависимость продолжительности сеанса от расстояния между пунктами**

Расстояние	Минимальная продолжительность одного сеанса
до 1 км	1 час
от 1 до 5 км	1,5 часа
от 5 до 10 км	2 часа
более 10 км	3 часа

Таблица 2

**Требования к спутниковым измерениям**

Критерий	Значение
Минимальное число приемников, одновременно используемых в сеансе наблюдений	6
Минимальное количество сеансов наблюдений на пункте	3
Минимальное число одновременно наблюдаемых спутников	5
Интервал времени между приемами спутникового сигнала (дискретность), сек	15
Минимальное число квадрантов расположения наблюдаемых спутников	3
Минимальный угол возвышения спутников над горизонтом	15
Максимально допустимое значение PDOP	5
Число повторных измерений высоты антенны в течение сеанса (не менее)	3
Число независимых центрировании антенны на пункте	3
Необходимость непрерывных наблюдений на пунктах высшего уровня, вошедших в проект	да

Проектом также предусмотрена привязка базовой станции «Сатурн» к постоянно действующим пунктам спутниковых наблюдений, в качестве которых были выбраны наиболее близко расположенные к району работ базовые станции в городах Луховицы, Кашира и Серебрянные пруды.

Проектом предусмотрено развитие учебной геодезической сети непосредственно на территории базы «Сатурн» и в ее окрестностях. Сеть предназначена для проведения учебных практик по геодезии, прикладной геодезии, фотограмметрии и дистанционному зондированию, производственных практик, выполнения научно-исследовательских и производственных работ.

Сеть запроектирована таким образом, чтобы между пунктами по-возможности была обеспечена взаимная видимость, а также чтобы они располагались на открытой местности для производства спутниковых наблюдений (см. рис. 3).

Пункты учебной геодезической сети закреплялись на местности в виде отрезка арматуры, зацементированный в грунт. Арматура упирается в кирпич.

Наземная часть покрашена в бело-красный цвет, сбоку указано условное название пункта. В верхней части арматуры выточен крест для центрирования геодезических приборов.

Вокруг пункта сделана окопка в виде квадрата.

Для построения учебной геодезической сети, ее привязки к существующим пунктам, а также постоянно-действующим пунктам спутниковых наблюдений предусмотрено использование спутниковых геодезических систем: двухчастотных Trimble R8 и одночастотных Trimble R3.

Основной задачей предварительной обработки спутниковых измерений является контроль их качества и оценка соответствия установленным требованиям к точности, для чего используется программное обеспечение фирм-производителей применяемого спутникового оборудования, в данном случае Trimble Business Center.

При предварительной обработке наблюдений в каждой расстановке вычисляли все возможные базовые линии между пунктами фрагмента сети. При обработке исключались наблюдения отдельных спутников полностью или интервалов наблюдений всех или некоторых спутников с низким качеством слежения (многочисленные перерывы в слежении из-за экранирования сигнала или других помех). При этом соблюдалось следующее требование: совокупная продолжительность интервала наблюдений, включенных в обработку по каждому сеансу, не должна быть меньше 90% от установленной минимальной продолжительности сеанса.

### **АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ «САТУРН»**

Для анализа возможных перемещений базовой станции «Сатурн» были проанализированы результаты синхронных спутниковых наблюдений на станции и пунктах контрольной сети А, В и С. Точность спутниковых измерений составляет 5 мм в плане и 5 мм по высоте (согласно результатам обработки).

Результаты обработки спутниковых наблюдений в виде параметров базовых линий между пунктами представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Параметры базовых линий контрольной сети

	Дни наблюдений				
<b>A-B</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	-36,143	-36,142	-36,143	-36,144	-36,144
dy	-244,327	-244,325	-244,325	-244,326	-244,329
S	291,687	291,688	291,687	291,688	291,687
h	4,258	4,256	4,259	4,258	4,258
<b>B-C</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	145,709	145,71	145,708	145,708	145,708
dy	-306,576	-306,577	-306,575	-306,578	-306,574
S	334,374	334,372	334,371	334,371	334,372
h	2,460	2,462	2,460	2,461	2,461
<b>C-A</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	-185,716	-185,716	-185,714	-185,717	-185,718
dy	63,066	63,065	63,064	63,068	63,069
S	219,561	219,557	219,556	219,559	219,56
h	2,226	2,226	2,228	2,227	2,228
<b>A-Сатурн</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	-130,733	-130,735	-130,733	-130,736	-130,73
dy	-43,534	-43,537	-43,537	-43,53	-43,535
S	178,794	178,794	178,794	178,794	178,794
h	2,393	2,392	2,392	2,393	2,393
<b>B-Сатурн</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	94,589	94,592	94,589	94,59	94,589
dy	-200,795	-200,799	-200,797	-200,797	-200,797
S	225,734	225,731	225,735	225,735	225,734
h	3,866	3,867	3,869	3,869	3,87
<b>C-Сатурн</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	-47,776	-47,773	-47,773	-47,774	-47,776
dy	107,022	107,021	107,022	107,021	107,022
S	118,840	118,842	118,841	118,841	118,840
h	1,020	1,023	1,023	1,024	1,022

Далее вычислены отклонения параметров базовых линий циклов наблюдений от начального. Результаты вычислений даны в табл. 4.

Таблица 4

## Отклонения параметров базовых линий от начального значения

	Дни наблюдений				
<b>A-B</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,001
dy	0,000	-0,002	-0,002	-0,001	0,002
S	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000
h	0,000	0,002	-0,001	0,000	0,000
<b>B-C</b>	<b>День 1</b>	<b>День 2</b>	<b>День 3</b>	<b>День 4</b>	<b>День 5</b>
dx	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,001
dy	0,000	0,001	-0,001	0,002	-0,002
S	0,000	0,002	0,003	0,003	0,002
h	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,001

С-А	Дни наблюдений				
	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5
dx	0,000	0,000	-0,002	0,001	0,002
dy	0,000	0,001	0,002	-0,002	-0,003
S	0,000	0,004	0,005	0,002	0,001
h	0,000	0,000	-0,002	-0,001	-0,002
А-Сатурн	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5
dx	0,000	0,002	0,000	0,003	-0,003
dy	0,000	0,003	0,003	-0,004	0,001
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
h	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
В-Сатурн	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5
dx	0,000	-0,003	0,000	-0,001	0,000
dy	0,000	0,004	0,002	0,002	0,002
S	0,000	0,003	-0,001	-0,001	0,000
h	0,000	-0,001	-0,003	-0,003	-0,004
С-Сатурн	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5
dx	0,000	-0,003	-0,003	-0,002	0,000
dy	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
S	0,000	-0,002	-0,001	-0,001	0,000
h	0,000	-0,003	-0,003	-0,004	-0,002

Как видно из табл. 4, максимальные колебания параметров базовых линий составили:

- для линии А-В: 1 мм (dx); 2 мм (dy); 1 мм (S); 2 мм (h);
- для линии В-С: 1 мм (dx); 2 мм (dy); 3 мм (S); 2 мм (h);
- для линии С-А: 2 мм (dx); 3 мм (dy); 5 мм (S); 2 мм (h);
- для линии А-Сатурн: 3 мм (dx); 4 мм (dy); 0 мм (S); 1 мм (h);
- для линии В-Сатурн: 3 мм (dx); 4 мм (dy); 3 мм (S); 4 мм (h);
- для линии С-Сатурн: 3 мм (dx); 1 мм (dy); 2 мм (S); 4 мм (h).

СКП положения пунктов представлены в табл. 5.

Таблица 5

## Результаты оценки точности

Пункт	СКП положения, м
Луховицы	0,002
Кашира	0,003
Серебряные пруды	0,002
Базовая станция "Сатурн"	0,004

Таким образом, определено пространственное положение базовой станции «Сатурн» относительно постоянно-действующих пунктов спутниковых наблюдений.

В 2016 г. планируется повторное определение координат базовой станции «Сатурн» относительно пунктов Луховицы, Кашира и Серебряные пруды.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ УЧЕБНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Координаты пунктов учебной геодезической сети были определены из спутниковых наблюдений относительно базовой станции «Сатурн», центр которой принят за условное начало координат.

На каждом пункте были проведены спутниковые наблюдения трижды (три разных дня) по три часовых сеанса с уточнением центрировки и перестановкой высоты антенны.

Результаты спутниковых наблюдений были обработаны в стандартном программном продукте, в обработку были также включены наблюдения на постоянно-действующих пунктах спутниковых наблюдений Луховицы, Кашира, Серебряные пруды. Уравнивание проводилось с фиксацией координат базовой станции «Сатурн».

Результаты оценки точности положения пунктов учебной геодезической сети и определения параметров базовых линий представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты оценки точности

Пункт	СКП положения, м	СКП определения базовых линий по пунктам от базовой станции	
		mS, м	mH, м
Базовая станция «Сатурн»	0,000	0,000	0,000
Центр	0,002	0,005	0,007
Поле	0,004	0,004	0,005
Паром	0,004	0,005	0,007
Река	0,007	0,006	0,004
Рыбная	0,009	0,005	0,007
Лес	0,015	0,007	0,009
Осетр	0,004	0,005	0,009
Дорога	0,015	0,005	0,008
Усадьба	0,020	0,010	0,008

### Заключение

В настоящей статье, написанной на основе обработки результатов выполненных в летний период спутниковых наблюдений на пунктах геодезической сети в Луховицком районе Московской области, рассмотрены разработка и реализация проекта учебной геодезической сети, создаваемой для проведения на современном научно-техническом уровне учебных и производственных практик студентов Аграрного факультета Российского университета дружбы народов.

Заложенная на крыше здания базовая станция «Сатурн» привязана к существующим пунктам геодезической сети, также ее пространственное положение определено относительно постоянно действующих пунктов спутниковых наблюдений, расположенных в городах Луховицы, Кашира, Серебряные пруды.

По результатам измерения на специально созданной контрольной сети выполнена оценка стабильности положения центра базовой станции «Сатурн».



Относительно базовой станции спутниковыми методами создана учебная геодезическая сеть, состоящая из десяти пунктов, закрепленных на местности. Координаты пунктов учебной геодезической сети определены относительно базовой станции «Сатурн» и постоянно действующих пунктов.

Результаты измерений на пунктах геодезической сети продемонстрировали высокую точность и надежность определения координат.

Запланировано развитие учебной геодезической сети, включение в нее новых пунктов. Также планируются повторные спутниковые наблюдения с целью переопределения координат закрепленных на местности центров для оценки стабильности и надежности созданного геодезического построения.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Докукин П.А., Змызгов А.А. Создание и развитие спутниковой сети научно-учебной базы «Горное» Государственного университета по землеустройству // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. 2009. № 9 (57). С. 68—76.
- [2] Докукин П.А. Результаты научных исследований на научно-учебной базе «Горное» Государственного университета по землеустройству // *Науки о Земле*. 2011. № 2. С. 14—27.

### **THE EDUCATIONAL GEODETIC NETWORK OF THE AGRARIAN TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

**P.A. Dokukin, F.M. Isroilova,  
I.A. Kevorkov, G.G. Nagapetyan**

Agroengineering department  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198*

This article discusses the project of educational geodetic network, created for the needs of education and practical training of students of the Agrarian and technological institute PFUR. The results of the implementation of design solutions in Lukhovitsy district of Moscow region.

**Key words:** geodetic network, satellite observations, accuracy, educational practice, the center point, satellite receivers, treatment of observations, equalization, reconnaissance, engineering geodetic networks, a base station.

#### **REFERENCES**

- [1] Dokukin P.A., Zmyzgov A.A. Sozdaniye i razvitiye sputnikovoy seti nauchno-uchebnoy bazy «Gornoye» Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroystvu. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*, 2009, no. 9 (57), pp. 68—76.
- [2] Dokukin P.A. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy na nauchno-uchebnoy baze «Gornoye» Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroystvu. *Nauki o Zemle*, 2011, no. 2, pp. 14—27.