

ПЛАНИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ МОНТАЖЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. КИШШ

Кафедра Общей геодезии Института геодезии Будапештского Технического Университета,
Н-1521

(Поступило: 2 марта 1981)

Представлено: проф. д-р Шаркёзи Ф.

PLANNING GEODETIC WORKS FOR THE ASSEMBLY OF STEEL STRUCTURES —
Up-to-date geodetic facilities and the applied geodetic technology have a great significance and economical impact for the design and assembly of steel structures, imposing to outline the role of geodetic work in design, and the design tasks of the geodesist. Recently, the Institute of Geodesy of the Technical University, Budapest undertook geodetic works for some important constructions with steel structure, observations made in, and publications are relied on in analyzing geodetic tasks and duties of the geodesist in assembling steel structures, illustrated on the example of a geodetic assembly control undertaken by this Institute.

По мере развития техники возрастает и потребность в экономичном создании крупноразмерных конструкций с небольшой материалоемкостью, удовлетворяющих эстетические требования.

Стальная конструкция позволяет проектировать «облегченные» конструкции даже при больших размерах, кроме того, легко собирается.

Для использования благоприятных свойств стальной конструкции необходимо, чтобы конструктор знал возможности современной геодезии и условия эффективного проведения геодезических работ.

Ввиду занятия дорогостоящих подъемных машин, монтаж конструкций оказывается экономичным только в том случае, если в процессе его планирования учитываются влияющие на монтаж факторы, такие как: технология геодезического управления монтажом, его потребность во времени и пространстве.

Технология монтажа, в свою очередь, требует планирования геодезической технологии, лучше всего пригодной к цели.

Для создания (строительства) стальных конструкций современным геодезическим возможностям и применяемой технологии геодезических работ принадлежит большое значение и экономическое воздействие на проектирование и производство работ, поэтому необходимо подробно изучать их роль и задачи инженера-геодезиста по планированию.

По этой тематике уже опубликовалось несколько работ. В течение последних лет Институт геодезии БТУ участвовал в геодезических работах нескольких значительных объектов стальной конструкции (напр., стройка торгового центра, капитальные стройки объектов стальной металлургии,

строительство атомной электростанции), у которых пришлось решать ряд до сих пор не выясненных теоретических и практических проблем. На основе опыта этих работ и литературных данных подвергаются анализу геодезические работы и задачи геодезиста по планированию. Для единства трактовки примером послужат данные горизонтального направления плана вешения здания со стальным каркасом, для нового будапештского торгового центра, «Белвароши».

При планировании геодезических работ безусловно следует отвечать на следующие вопросы:

- Что и с какой целью измерять?
- С какой точностью измерять?
- Как, где, когда и чем измерять?

1. Что и с какой целью измерять?

По действующим нормативам на эти вопросы должен отвечать главный проектировщик, и/или проектировщик технологии монтажа и конструкции.

11. Определение цели измерения

Это всегда входит в задачи главного проектировщика и/или проектировщика конструкции, хотя было бы целесообразно привлекать в формулировку вопроса и специалиста геодезии.

12. Подробное изложение определения объекта измерения

Проектирование измеримых точек конструкции также является задачей проектировщика конструкции или проектировщика-технолога. В этом вопросе, однако нецелесообразно самостоятельно решать. Без консультации с экспертом-геодезистом невозможно составлять экономично выполняемый план, так как на решение проблемы оказывает обратное действие и применяемая технология измерения. При работах Института геодезии задачи измерения были приведены в геодезическом плане.

При составлении геодезического плана пришлось изучать не только существующие проекты, а также согласовать каждый вопрос как с проектировщиками, так и с исполнителем и инвеститором. Полученные в результате этих консультаций взаимные информации в значительной мере содействовали нашей и сделали дальнейшие мероприятия однозначными. Общие требования к стальным конструкциям излагаются в главе 313. настоящей работы.

2. С какой точностью измерять?

Ответ на этот вопрос имеет двойной характер. Прежде всего следует определить, какие нормативы относятся к конструкции — объекту измерения по точности. Далее, должна быть определена точность геодезических измерений, имеющих целью удовлетворение требований конструкции по точности. Эти требования задаются стандартами, технологическими нормативами, или проектировщиком- статиком. Роль эксперта — геодезиста состоит в том, чтобы обратить внимание на финансовые и временные следствия нереальных требований к точности, а также на возможности новых геодезических приборов и технологий измерения.

В связи с монтажными работами конструкций торгового центра, из-за специальных требований облегченной стальной конструкции было предусмотрено статиком-проектировщиком, чтобы положение осевых точек опор, выделенных для управления конструкцией после застройки не должно отклоняться больше чем ± 10 мм от проектного положения.

Планирование точности геодезических измерений входит исключительно в сферу заданий геодезиста. На этом вопросе мы остановимся позже.

3. Как, где, когда и чем измерять?

На указанные выше вопросы — за исключением «где и когда» — должен отвечать геодезист.

Для обстоятельного ответа рассматриваются рабочие фазы планирования геодезической работы для строительства стальными конструкциями, и в том числе освещаются аспекты, имеющие значение для монтажа стальных конструкций, или вообще особенно важны.

31. Планирование геодезической работы

При этом следует учесть:

- а) Задачи по геодезическим измерениям;
- б) Требования к точности;
- в) Геометрия конструкции, ее размещение в плане, проектная координатная сетка;
- г) Организационный план;
- д) Местные особенности;
- е) Проект технологии монтажа;
- ж) Наглядность измерительной схемы;
- з) Скорость измерительного метода;
- и) Проведение длительных геодезических работ высокой точности до монтажа;

- й) Обеспечение проверки измерительной работы;
- к) Выбор измерительного метода с самоконтролем и для проверки проектных данных.

311. Определение допустимой средней квадратической ошибки разбивки

Исходя из допустимого предела погрешности, по [1] вычисляется значение допустимой средней квадратической ошибки с помощью следующих зависимостей;

$$T = 2 \cdot H \quad \text{где } H \text{ — допустимый предел погрешности} \\ T \text{ — допуск зазора} \quad (1)$$

$$T = (T_{gy}^2 + T_{sz}^2 + T_k^2)^{1/2} \quad \text{где } T_{gy} \text{ — допуск производства} \\ T_{sz} \text{ — допуск монтажа} \\ T_k \text{ — допуск разбивки} \quad (3)$$

$$T_k = 2 \cdot t \cdot \bar{\sigma}_k \quad \text{где } \sigma_k \text{ — допустимый разброс разбивки} \\ t \text{ — множитель.}$$

В нашем примере предел погрешности размещения опор в горизонтальном направлении: $H = \pm 10$ мм. Таким образом, $T = 2 \cdot 10 = 20$ мм.

При этом заданный предел погрешности относился к обозначенным точкам опор, таким образом, производственная ошибка отпадает, т. е. $H_{gy} = 0$, и так $T_{gy} = 0$.

Ошибка при монтаже определяется предварительно запроектированной монтажной технологией.

$$H_{sz} = \pm 4 \text{ мм, так, } T_{sz} = 8 \text{ мм.}$$

$$T_k = (T^2 - T_{sz}^2)^{1/2} = (20^2 - 8^2)^{1/2} = 18,3 \text{ мм}$$

$$\text{при вероятности } p = 0,997 \quad t = 3$$

$$\bar{\sigma}_k = \frac{1}{2 \cdot t} \cdot T_k = \frac{1}{6} \cdot 18,3 = 3,0 \text{ мм}$$

$$\text{при вероятности } p = 0,954 \quad t = 2$$

$$\bar{\sigma}_k = \frac{1}{2 \cdot t} \cdot T_k = \frac{1}{4} \cdot 18,3 = 4,6 \text{ мм.}$$

Применение более строгого значения $\bar{\sigma}_k$ обосновано тем, что при небольшом числе измерений результаты должны считаться случайными величинами с распределением « t ». По [11] следует до числа измерений $n = 3$ вводить множитель надежности « k », где $k = f(n)$. Применение менее строгого значения $\bar{\sigma}_k$ обосновано тем, что по мере роста потребности в точности резко повышаются затраты и продолжительность геодезической работы, что оказывает влияние и на продолжительность монтажа. Такую позицию занимает и [7].

Для устранения ошибок всегда приходится повторять измерения, поэтому нет необходимости применения строгого значения b_k . Надежность достигается прежде всего путем строгого соблюдения технологической дисциплины.

В примере мы исходили из значения $b_k = 4$ мм. Оно совпадает со значением, вычисленным эмпирической зависимостью $b_k = 0,4 \cdot H$. Так, в дальнейшем через $b_k = m_k$ будет обозначена допустимая средняя квадратическая ошибка.

312. Составление геометрического плана размещения измерений (модели геодезических измерений)

Геометрический план размещения измерений отражает потребности измерения в площади, указывает на применимые измерительные методы и из связи, служит основой для проектирования измерительных технологий и составления плана определения измерительных задач.

Здания стальной конструкции представляют собой простую или сложную объемную сетку вертикального или горизонтального размещения в зависимости от своей функции (см. рис. 1).

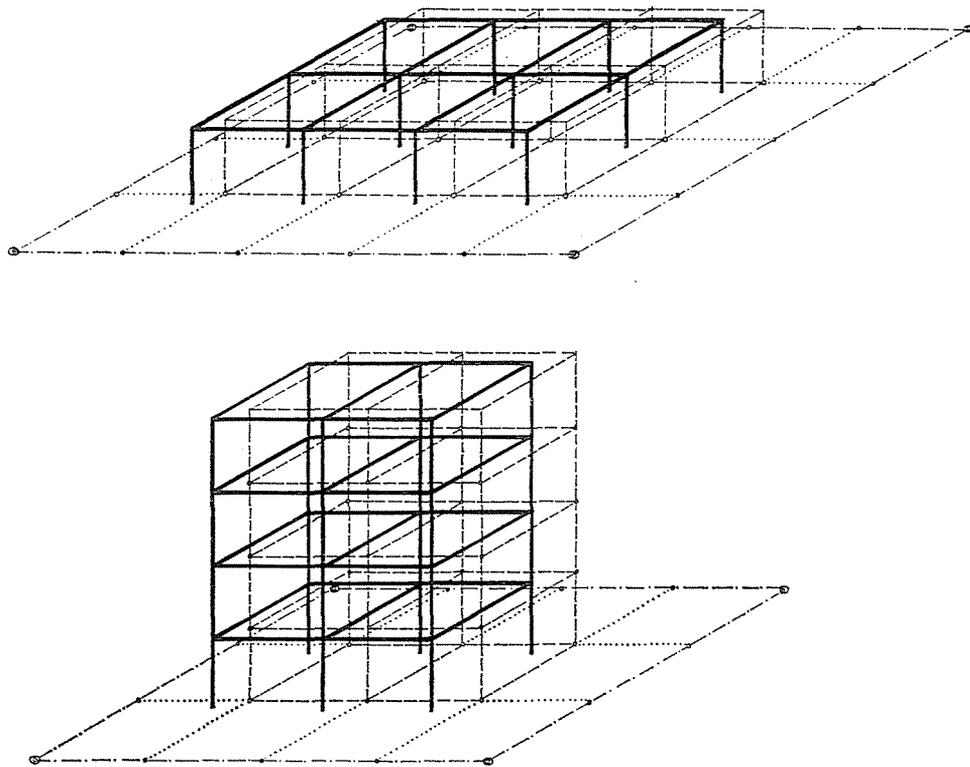


Рис. 1

В дальнейшем излагаются геодезические задачи монтажа конструкций вертикального размещения. Геометрическое размещение измерения является наиболее пригодным с всех точек зрения, если формируется по модели стального каркаса, так, геометрия измерения определяется объемной решетчатой сеткой, узлами которой являются опорные пункты разбивки, а боковыми поверхностями — плоскости разбивки. Для обеспечения взаимной видимости геодезическая сеть размещается, как правило, сдвинуто, относительно стальной конструкции (см. рис. 1).

Геодезическая сеть внутри здания обеспечивает однозначное соотношение, однако, сеть снаружи, создаваемая, как правило для массива фундамента, должна обладать такой надежностью, чтобы служить исходной основой и для монтажа конструкции.

313. Определение измерительных задач

3131. *Задачи, проводимые до монтажа стальной конструкции*

- а) Создание и уплотнение сети опорных пунктов горизонтального направления;
- б) Создание компаратора;
- в) Создание сети опорных пунктов по высоте вне здания, а также создание опорных пунктов внутри здания которые имеют те же смещения как и основания; они служат основой для управления монтажными работами, а также отметка 0-го уровня строительства;
- г) Создание системы исследования смещений по высоте.

3132. *Задачи в процессе монтажа стальной конструкции*

- а) Уплотнение и проекция сети опорных пунктов, по монтажным узлам;
- б) Задачи управления монтажными работами:
 1. Управление размещением оснований опор, в горизонтальном и высотном направлениях;
 2. Управление размещением опор, а также установкой их верхней отмеченной точки в вертикаль нижней осевой точки или в координатную сетку;
 3. Проверка положения опор при монтаже горизонтальных поэтажных перемычек (до окончательного укрепления конструкции, под влиянием разных усилий при монтаже опоры изменяют свое положение и форму);
 4. Определение высотных данных конструкции и геодезической сети;
 5. Другие специальные задачи.
- в) Контрольные измерения, необходимые для технической оценки: По фазам монтажа, после их завершения, определение положения и

размеров комбинированной стальной конструкции, и выявление ее отклонения от проектного положения.

г) Измерения по исследованию смещений

1. Исследование смещений опорных пунктов и опорных тел под влиянием статических и динамических нагрузок, в горизонтальном и высотном направлениях.
2. Определение смещений под влиянием метеорологических факторов.
3. Измерение деформаций, возникающих под влиянием нагрузок в процессе монтажа. Сюда относится случай по пункту б/3. Надо специально рассмотреть смещения конструкции под влиянием нагрузок, возникающих при бетонировании перекрытий.

Результаты исследований смещений должны последовательно учитываться при управлении монтажными работами, но кроме того, они влияют и на технологию дальнейшего монтажа и на техническую оценку конструкции.

314. Выбор измерительных методов

В случае применения геодезической модели, представленной на рис. 1, имеется возможность для того, чтобы после создания сети главных опорных пунктов решить задачи как по уплотнению сети опорных пунктов, так и по управлению монтажом методами

- разбивки в качестве точки измерительной линии,
- разбивки в качестве точки пересечения измерительных линий.

За счет этих методов — при удовлетворительной оснащенности приборами и измерительной технологии — достигается требуемая точность; кроме того, эти методы удовлетворяют и другим перечисленным требованиям. Если для задач проекции, или в других областях приходится применять другой метод, то следует его проверять путем расчета.

315. Подробная разработка технологии измерения

3151. *Принятие средней квадратической априорной ошибки отдельных измерительных задач*

Исходя из допустимой средней квадратической ошибки вешения, определенной по разделу 311, расчет проводится следующим образом: с помощью геодезического плана размещения рассматривается *критический путь* измерительных задач, по которому, исходя из основной системы, доходим до разбивки наивысшей и труднее всего достигаемой точки конструкции. Записывается формула ошибки, относящаяся по этому пути к методу измерения отдельных рабочих фаз. Опытным путем, или же с помощью таблиц (см [2]) в формулы ошибок подставляются такие априорные значения, при которых даже квадратная сумма средних квадратических ошибок, вычисленных для

измерительных фаз, не превышает допустимое значение средних квадратических ошибок.

В приведенном примере исходили из рассмотрения плана измерений на рис. 1. На его основе можно установить, что на наивысшем уровне для разбивки опоры самого невыгодного положения шаги критического пути следующие:

1. Исходим из сети главных опорных пунктов. Пусть обозначение их средних квадратических ошибок в направлении координатной сетки будет m_1 .
2. Уплотнение опорных пунктов вне здания выполняется определением в качестве линейной точки измерения. У этого метода средняя квадратическая ошибка в продольном направлении;

$$m_{21} = (m_a^2 + m_{h(b)}^2)^{1/2} \quad (4)$$

в поперечном направлении;

$$m_{22} = \left(m_a^2 + b^2 \frac{m_{sz0}^2}{\rho^2} + m_e^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{b^2}{t^2} - \frac{b}{t} \right) \right)^{1/2}. \quad (5)$$

3. Проекция геодезической сети на наивысший уровень с уплотненных опорных точек вне здания осуществляется с помощью теодолита. (В некоторых случаях целесообразнее применять вертикальный проектор). Проекция теодолитом, в зависимости от взаимной видимости может быть проведена вешанием измерительной линии и прямоугольной разбивкой. Исходим теперь из менее выгодного случая, формула ошибки которого;

$$m_{31} = \left(m_a^2 + b^2 \frac{m_{sz}^2}{\rho^2} + m_e^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{b^2}{t^2} \right) \right)^{1/2}. \quad (6)$$

4. Уполнение опорных пунктов на наивысшем уровне происходит путем определения точек пересечения измерительных линий. Формула ошибки при этом соответствует (5). Обозначение через m_{41} .
5. С уплотненных опорных пунктов на наивысшем уровне разбивка требуемой точки конструкции также происходит в качестве точки пересечения измерительных линий. Формула ошибки соответствует (5) и обозначается через m_{51} .

Целевая функция расчета;

$$m_k = (m_1^2 + m_{21}^2 + m_{31}^2 + m_{41}^2 + m_{51}^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Перемещением зависимости (7), можно ее использовать и для вычисления значения m_1 , требуется от пунктов сети опорных пунктов.

Переменные в вышеуказанных зависимостях;

- $m_{h(b)}$ — средняя квадратическая ошибка разбивки длины « b »
 m_e — средняя квадратическая ошибка установки прибора для разбивки угла на центр, и/или временного обозначения опорных пунктов
 m_{sz} — средняя квадратическая ошибка разбивки угла
 m_{szo} — средняя квадратическая ошибка разбивки направлений
 m_a — средняя квадратическая ошибка отметки разбивного пункта
 b — длина разбивки
 t — расстояние между опорными точками
 e — 206 264''

Для приведенного примера: данные в мм и секундах;

	m_{z1}	m_{z1}	m_{a1}	m_{z1}
$m_{h(b)}$	2			
m_e		1	1	1
m_{sz}		10		
m_{szo}			4	15
m_a	1	1	1	1
b		12 000	48 000	18 000
t		48 000	48 000	48 000
ср. кв. ошибки	2,24	1,38	1,54	1,55

Допустимая средняя квадратическая ошибка для пунктов главной опорной сети;

$$m_1 = (4^2 - 2,24^2 - 1,38^2 - 1,54^2 - 1,55^2)^{1/2} = 2,08 \text{ мм.}$$

В следующих случаях нет необходимости работать по таким строгим предписаниям;

- Если сохранение уплотненных вне здания опорных точек обеспечено, так как они дают единое соотношение, поэтому ошибками их создания не надо заниматься. Значения m_1 и m_2 влияют только на точность шага опор, а в (7) роли не играют.
- Если проекция сети и уплотнение опорных пунктов высших этажей проводятся в одной рабочей фазе, методом разбивки измерительной линии по следующим; вдоль плоскости координаты, с применением 4 теодолитов получается прямая опорных точек отдельных этажей, путем прямой разбивки при постепенном приближении. Таким методом можно осуществить и передачу азимута высокой точности, если приборы устанавливаются в коллиматорную позицию. В зависимости (7) у этого метода в места m_{z1} и m_{a1} вносится только одно и значительно меньшее значение ошибки.

3152. Выбор аппаратуры и разработка технологии измерений

Потребность метода «разбивка в качестве пересечения измерительных линий» в аппаратуре — оснащенность приборами точностью, указанной в разделе 3151, обеспечивающими получение вертикальных ориентирных плоскостей, переходящих через относительные опорные пункты.

Этим требованиям соответствуют теодолит для секунд и прибор для принудительной центрировки, если теодолит обладает урегулированным и установленным на алиаду (поворачиваемым) оптическим проектором. Из-за крутых визирований как правило, необходимы и ломаноокулярные оснастки. Применение лазерного теодолита обеспечивает наглядную работу, а при дневном свете лазер оказывается невидимым.

Точное закрепление опорных пунктов может осуществляться за счет врезанного креста или отверстия на металлическом листе, а нулевые пункты уровня стальной конструкции могут быть отмечены гашюрами на окраске, или наклеенной светоотражающей точкой из фольги (см. [5—6]). При эксцентрической ориентировке необходимы и эксцентрические знаки, а также рейки с делением.

Метод разбивки пункта измерительной линии, применяемый при уплотнении опорных пунктов требует точного измерения длины. Для этого, при наличии хорошей траектории измерения, необходима инверсная лента а в остальных случаях — светодальномер высокой точности.

Горизонтальные размеры стальной конструкции единым образом обеспечиваются опорной разбивочной сетью, так, при эвентуальных измерений длины целесообразно проводить сравнительное измерение. Поскольку приходится определить длины конструкции, то наряду с температурой измерительного прибора надо принимать во внимание и температуру конструкции. Если конструкция не подвергается влиянию теплового излучения, то можно получать удовлетворительные результаты применением измерительной ленты из стали. Применение инварной ленты нецелесообразно для стальных конструкций.

При разработке измерительной технологии для управления монтажными работами существенным аспектом является, чтобы проводить проверку измерений, без чрезмерного удлинения продолжительности монтажа. Для этого необходимо уплотнять опорную сеть до монтажа в такой мере, чтобы во всех случаях можно было найти в непосредственной близости разбиваемой конструкции опорную точку, применимую в качестве точки стояния или ориентирного пункта.

Для устранения ошибок приборов разбивка должна проводиться всегда в двух положениях трубки. Установку над точкой также следует проверять, путем вращения до 180° . Наклонность главной оси — так как методом не устраняется — оказывается непосредственным источником ошибок.

После разбивки следует проводить контрольное определение методом разбивки, но повторной установкой приборов. Полная проверка получается только за счет независимого метода, (напр., определения расстояния осей опор измерением длины), но метод соотношения должен совпадать и в этом случае с методом, примененным при разбивке.

3153. Проектирование главной опорной сети

В каждом случае необходимо проектирование точности размещения и определения сети. Проектирование точности размещения было изложено в [6]. В связи с точностью определения сети, для проектирования мест измеряемых точек и измеряемых количеств, необходимо записать матрицу формы A . На основе запланированных для измерения приборов и числа повторных измерений можно определить априорную матрицу Σ вариантности — ковариантности измерений. Со знанием этих двух матриц можно вычислить априорные среднеквадратические ошибки уравненных результатов измерений.

$$M = (A^* \Sigma^{-1} A)^{-1}.$$

При проектировании следует сравнить среднеквадратические ошибки в главной диагонали матрицы M со среднеквадратическими ошибками, допущенными для сети. В целях достижения предусмотренной точности при таких высокоточных сетях следует в первую очередь приобретать сверхточные приборы, светодальномеры, а также пользоваться ими. Подобный анализ проблем этой тематики описан в работах [3, 7, 8, 9].

Резюме

При создании (строительстве) стальных конструкций возможности современной геодезии и применяемая геодезическая технология имеют большое значение для проектирования и производства работ, а также большой экономический эффект. Поэтому весьма важным является выяснение роли геодезической работы в проектировании, а также задачи инженера-геодезиста по проектированию. В последние годы Институт геодезии БТУ участвовал в геодезических работах нескольких значительных объектов из стальных конструкций; на основе опыта указанных работ, а также литературных данных дается в настоящей работе анализ геодезических работ, необходимых при монтаже стальных конструкций, а также задачи проектирования инженера-геодезиста. В качестве примера приведены данные о геодезических работах, проведенных Институтом геодезии при управлении монтажными работами.

Литература

1. ДЕТРЕКЕИ, А.: Строительные допуски, пределы ошибок при разбивке.* Geod. és Kart. 1969/6.
2. ДЕТРЕКЕИ, А.: Таблицы для расчета априорной среднеквадратической ошибки.* Geod. és Kart. 1972/6.

* на венгерском языке

3. ДЕТРЕКЕИ, А.: Теория ошибок и метод наименьших квадратов в промышленной геодезии.* *Geod. és Kart.* 1976/5.
4. ХОЛЕЦИ, Д.: Учет внешних эффектов при проверке выхотных сооружений в процессе строительства.* *Geod. és Kart.* 1966/2.
5. КИШШ, А.: Светоотражающие марки и рейки. *Per. Pol. С. Е. Vol. 19.* (1975) 1—2.
6. КИШШ, А.: Специальные аспекты проектирования разбивки торгового центра в центральном районе Будапешта. *Per. Pol. С. Е. Vol. 24.* (1980) 1—2.
7. ОДОР, К.: Вопросы точности инженерно-геодезических сетей горизонтальных опорных пунктов.* *Geod. és Kart.* 1969/5.
8. РИГЛЕР, П.: Один из возможных методов проектирования геодезических сетей.* *Geod. és Kart.* 1979/2.
9. SÁRKÖZY, F.: Optimale Planung von Ingenieurfestpunktnetzen. *Per. Pol. С. Е. Vol. 24.* (1980) 1—2.
10. САБО, Б.: Некоторые особенности организации геодезической работы.* *Geod. és Kart.* 1975/4.
11. СКЕЙБАЛАС, И. М.: Влияние допусков на оценку точности измерений. Геодезия и Аэрофотосъемка 1979/1.

Д-р Антал Кишш, Н-1521 Будапешт

* на венгерском языке