

3. **Briz F., Degner M.W., Fernandez P.G., Diez A.B.** Rotor and flux position estimation in delta-connected AC Machines using the zero-sequence carrier-signal current / IEEE Transactions on industry applications, vol. 42, no. 2, 2006, pp. 495-503.
4. **Caruana C., Asher G.M., Clare J.C.** Sensorless flux position estimation at low and zero frequency by measuring zero-sequence current in delta-connected cage induction machines // IEEE Transactions on industry applications, vol. 41, no. 2, 2005, pp. 609-617.
5. **Staines C.S., Asher G.M., Sumner M.** Rotor-position estimation for induction machines at zero and low frequency utilizing zero-sequence currents // IEEE Transactions on industry applications, vol. 42, no. 1, 2006, pp. 105-112.
6. **Пересада С.М., Дымко С.С.** Прямое векторное управление моментом асинхронных двигателей с максимизацией соотношения момент-ток // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип 3/2011 (15). – С. 16-20.
7. **Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С.** Экспериментальное тестирование адаптивного к вариациям активного сопротивления роторной цепи наблюдателя потокосцепления асинхронного двигателя // Праці Інституту електродинаміки НАН України, -- 2010, №25. С. 68-71.
8. **Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Глушенков В.А., Бовкунович В.С.** Повышение эффективности векторно-управляемых электроприводов за счет робастификации и адаптации к вариациям активного сопротивления ротора // Промэлектро. – Киев, 2010. -- №5. С. 49-55.
9. **Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Малько М.П.** Робастный алгоритм идентификации параметров асинхронного двигателя при неподвижном роторе // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені М. Остроградського. – 2010, №1. С. 121-125.
10. **Сінолиций А.П., Осадчук Ю.Г., Козакевич І.А.** Дослідження спостерігача Льюенбергера для бездатчикового векторного керування при роботі на низькій швидкості // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – №3. – С. 38-39.

Рукопись поступила в редакцию 18.03.14

УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук., проф., А.Н. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.
Кировоградский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЛЬПЫ В УЛИТКОВОМ ПИТАТЕЛЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПЕСКОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВУХСПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА

Установлено, что изменение уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя представляет собой стационарный случайный процесс, интенсивность которого различна по его ширине и возрастает с уменьшением уровня. Длительность участков с неизменным значением уровня пульпы сокращается с его уменьшением. Они не являются строго фиксированными по длине реализации, которая равна 1,56 с.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Две третьих рудного сырья черной металлургии Украины составляют продукты обогащения. Значительная часть из них измельчается в циклах с двухспиральным классификатором, пески которого перерабатывает шаровая мельница, несущая основную нагрузку. Из-за отсутствия средств автоматической стабилизации разжижения пульпы в мельнице, она работает с неполной отдачей, перерасходуя электрическую энергию, шары и футеровку, снижая производительность по готовому продукту. Это не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосберегающие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Учитывая это, тема статьи, которая посвящена решению задач автоматизации разжижения пульпы в мельницах при измельчении песков механического двухспирального классификатора, является актуальной.

Материалы данной публикации получены при выполнении научно-исследовательской темы «Система компьютерной идентификации соотношения твердое/жидкое при измельчении песков классификатора» (государственный регистрационный номер 0107U005470).

Анализ исследований и публикаций. В автоматизацию измельчения руд значительный вклад сделали работы ученых: Азаряна А.А., Барского Л.М., Бунька В.А., Воронова В.А., Гринмана И.Г., Качана Ю.Г., Козина В.З., Кочуры Е.В., Марюты А.Н., Моркуна В.С., Назаренка М.В., Поркуян О.В., Процута В.С., Тихонова О.Н., Тропа А.Е., Хорольского В.П., Ватсона Д., Гилберта Д., Линча Л. и др. Однако их работы в основном посвящены автоматизации

мельниц с циркулирующей нагрузкой, которые невозможно адаптировать к условиям измельчения песковой нагрузки. Предложенное средство [1], как было установлено, может забиваться посторонними предметами, которые попадают в технологический поток. Авторами данной публикации предложен алгоритмический подход идентификации соотношения твердое/жидкое в улитковом питателе [2], который позволяет решить задачу обеспечения необходимого разжижения пульпы в шаровой мельнице, однако это связано с учетом динамики жидкой среды, которую в такой постановке никто не исследовал.

Постановка задания. Целью данной работы является исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора с обоснованием условий идентификации их разжижения.

Изложение материала и результаты. Современные улитковые питатели обычно имеют два захватных элемента. Схематическое изображение такого улиткового питателя подано на рис. 1.

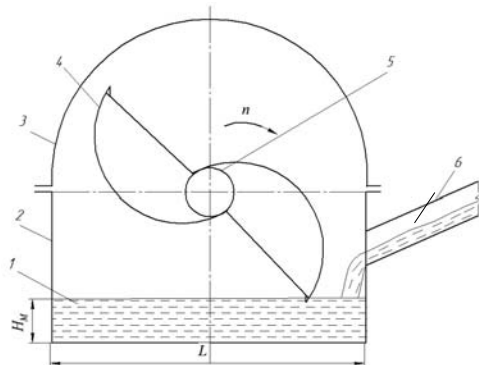


Рис. 1. Схематическое изображение улиткового питателя: 1 – пульпа; 2 – приемное устройство; 3 – кожух; 4 – улитка; 5 – пустотелый вал; 6 – песковый поток

В приемном устройстве 2 в установившемся режиме работы накапливается жидкий материал (пульпа) 1 с определенным уровнем H_M . Если бы обороты n мельницы (пустотелого вала 5) были очень маленькими, а пульпа не расслаивалась, то уровень H_M поддерживался бы на определенном неизменном значении, поскольку захватные элементы 4 отбирают за единицу времени столько материала, сколько его поступает с песковым потоком 6. При другом расходе в песковом потоке 6 в

приемном устройстве 2 будет новое установившееся значение уровня H_M . Процессы взаимодействия захватных элементов улиткового питателя и пульпы повторяются. Это идеализированный режим работы улиткового питателя. В реальных условиях пустотелый вал 5 присоединен к загрузочному торцу шаровой мельницы и вращается вместе с ней. С другой стороны, скорость движения захватных элементов улиткового питателя должна быть такой, чтобы пульпа 1 в приемном устройстве 2 не расслаивалась. В реальных условиях работы захватные элементы улитки 4 движутся с достаточно большой скоростью. При этом, захватный элемент, входя в пульпу, создает штучную волну, вершины которой имеют тенденцию быть короткими и острыми, а подошвы – длинными и пологими. Еще одной особенностью данной волны есть то, что в ней не создается задняя вершина, а лишь передняя в момент выхода захватного элемента с пульпы. Кривая свободной поверхности такой волны имеет вид дуги окружности радиусом, который равен расстоянию от оси вращения до кромки захватного элемента, которое в современных улитковых питателях составляет 3 м. Непрерывные волны в приемном устройстве не создаются учитывая то, что после выхода из пульпы первого захватного элемента второй в это же мгновение не входит. Таким образом действует только одна волна, которая потом разрушается.

Днище приемного устройства существенно влияет на формирование волны. В частности, практически весь объем пульпы, которая находится в проекции ширины захватного элемента, движется вперед вместе с волной. Волна продвигается со скоростью пульпы, которая движется вместе с ней.

Это продолжается до мгновения, пока волна не достигнет преграды – стенки, установленной в конце приемного устройства [3].

Известно, что в случае волн, которые движутся непрерывно, вершины перемещаются более быстро, чем подошвы. На мелких участках крутизна переднего склона возрастает, а заднего – уменьшается. Когда вершина волны догоняет подошву, возникает прибой. Передний склон принимает отвесное положение и вершина волны падает к подошве, которая находится спереди. При этом возле переднего склона волны создается воздушный карман. Под действием большой энергии волны он сильно сжимается. Сжатый воздух выбрасывает брызги и частично растворяется в жидкой среде [3]. Учитывая то, что предыдущей волны в улитковом питателе не существует, прибой в нем возникнуть не может.

Поэтому при работе улиткового питателя воздух в пульпу практически не попадает. Активное перемещение пульпы способствует поддержанию ее гомогенного состояния.

Сформированная одиночная волна отражается под прямым углом в приемное устройство с большой энергией, совершая движение в обратном направлении, интенсивно перемешивая материал. Идеальная отраженная волна, как бы на нее не влияли оседающая и набегающая с пескового желоба пульпа, имела бы вид полной волны. В такой волне сформировались бы практически одинаковые две вершины. Однако отраженная волна действует в иных условиях. Из-за этого она меняет форму и ее следующие вершины будут проявляться сравнительно слабо. Волновые процессы в приемном устройстве улиткового питателя не отличаются неизменностью условий.

Длина волны, период колебаний и время ее частичного разрушения зависят от уровня пульпы в приемном устройстве. На входе пескового потока и возле стенки, где отражается создана волна, уровень пульпы за цикл не отвечает его среднему значению. Соответствие среднего значения уровня пульпы осредненному по волновым характеристикам значению может быть достигнуто лишь в центральной части приемного устройства улиткового питателя. На состояние пульпы в приемном устройстве улиткового питателя может значительно влиять и песковый поток.

При любых значениях уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя результирующие колебания будут представлены низкочастотной составляющей, на которую наложены более высокочастотные колебания. При сравнительно небольших значениях уровня пульпы ее поверхность в приемном устройстве будет изменяться с самой высокой частотой относительно практически горизонтального среднего значения. При средних значениях уровня пульпы высокочастотная составляющая будет иметь период около 0,45 с с увеличенной амплитудой. Она будет изменяться на фоне низкочастотного колебания с периодом 10 с и определенным значением амплитуды.

В случае максимальных значений уровня пульпы песковый поток будет иметь период 12,5 с и наибольшее значение амплитуды. Колебания от улиткового питателя будут иметь наибольшую амплитуду при периоде около 0,6 с. Итак, в приемном устройстве улиткового питателя основными есть колебания уровня пульпы, возбуждаемые захватными элементами. Они осуществляются на фоне среднего значения уровня пульпы или с его плавным увеличением и спадами, которые зависят от амплитуды и периода колебаний результирующего пескового потока.

Выполненные теоретические исследования позволяют сделать представление о движении пульпы в приемном устройстве, однако окончательные выводы сделать невозможно из-за отсутствия строгого математического описания процесса. Ввиду этого дополнительно проводились экспериментальные исследования. Такой эксперимент по ряду причин в промышленных условиях провести невозможно, поэтому его осуществляли на физической модели улиткового питателя. Физическая модель улиткового питателя показана на рис. 2.



Рис. 2. Физическая модель улиткового питателя без кожуха *а* и в плане относительно улитки *б*: 1 - емкость с жидкостью; 2 - средства регулирования расхода жидкости; 3 - песковый желоб; 4 - приемное устройство; 5 - прозрачная стенка со шкалой; 6 - жидкость; 7 - улитка с двумя захватными элементами; 8 - ось вращения улитки; 9 - шариковый подшипник; 10 - электродвигатель; 11 - кожух

Она является полной копией промышленного агрегата - имеет базовый размер $L=300$ мм, осуществляет 0,275 об/с, максимальное значение уровня жидкости - 25 мм (500 мм).

Физическая модель отображает основные функциональные элементы улиткового питателя в соответствии с чертежами с уменьшением в 20 раз.

Для обеспечения установившегося потока жидкости физическая модель дополнялась резервуаром с несколькими источниками неизменного расхода, которые возможно включать в различных сочетаниях. Жидкость, поданная питателем, направлялась в отдельный сборник.

Передняя стенка приемного устройства выполнена с прозрачного материала. На ней нанесена миллиметровая шкала, которая позволяет точно фиксировать значения уровня. В качестве жидкой среды использована вода, которая подкрашивается акварельной краской. Учитывая, что волновой процесс в улитковом питателе имеет достаточно сложный характер, исследования осуществлялись с помощью цифровой видеокамеры Panasonic NV-GS230. Она в каждое мгновение фиксировала значения уровня жидкости по всей ширине приемного устройства. Съемка волнового процесса осуществлялась непрерывно, а после информация переносилась в персональный компьютер с последующей обработкой материала. В процессе обработки можно было наблюдать волновой процесс в динамике, а также фиксировать в статике любое его мгновенное положение.

На первом этапе экспериментальных исследований установлено, что при работе улиткового питателя уровень жидкости в приемном устройстве интенсивно меняется. Наибольшие изменения уровня осуществляются возле стенки приемного устройства по ходу перемещения захватного элемента, а наименьшие - на входе потока. Осредненными свойствами владеет средняя зона улиткового питателя левее и правее от его оси, которая отвечала на физической модели ± 40 мм. Исследования показали, что более интенсивные изменения происходят в левой ее части, т.е. в направлении движения захватного элемента.

При выходе захватного элемента с жидкости она сильно возмущается. Возмущения тем большие, чем меньше среднее значение уровня. После возмущения при выходе захватного элемента с жидкой среды пульпа совершает движения в режиме свободных колебаний. При вхождении следующего захватного элемента в жидкость она еще находится в возмущенном состоянии.

Возмущенное состояние проявляется больше при малых начальных средних уровнях жидкости. Интенсивность этих колебаний не одинакова по ширине приемного устройства. В целом движения имеют случайный характер, однако они отличаются закономерностью, которая вызвана периодичностью взаимодействия захватного элемента с жидкостью. Эта закономерность обеспечивает стационарность случайному процессу.

Идентифицировать состояние жидкого материала возможно по одному, двум, системно спланированной сети показаний уровня, каждое из которых будет случайным процессом, владеющим стационарностью. Учитывая то, что интенсивность изменения уровня жидкости левее и правее от вертикали, которая проходит через ось вращения пустотелого вала, разна, проводились исследования случайного процесса изменения уровня в точках, которые отвечают середине приемного устройства улиткового питателя, левее и правее от нее на 40 мм.

В процессе исследований установлено, что случайные процессы отличаются однородностью. Левее от середины приемного устройства случайные процессы отличаются наибольшей интенсивностью. Посередине улиткового питателя интенсивность изменения уровня несколько уменьшается. Правее от середины приемного устройства изменения уровня жидкости значительно меньше сравнительно с другими точками контроля. Кроме того, с данных исследований видно, что интенсивность случайного процесса зависит не только от точки контроля, а и от начального установившегося значения уровня пульпы. При уменьшении установившегося значения уровня жидкости интенсивность случайных процессов возрастает.

Из результатов выполненных исследований вытекает, что параметры жидкости наиболее просто было бы контролировать правее от средней точки приемного устройства улиткового питателя. Здесь много значений случайного процесса отвечают математическому ожиданию – установившемуся среднему значению уровня жидкости.

Однако при меньших значениях уровня жидкости случайный процесс по характеру совпадает с другими. Это означает, что при контроле правее средней точки приемного устройства улиткового питателя, выделенные преимущества касаются только больших значений уровня жидкости. Учитывая это, при контроле параметров жидкости в приемном устройстве улиткового питателя целесообразно избрать его среднюю точку, где случайный процесс имеет среднюю интенсивность и наиболее полно характеризует состояние жидкой среды.

При двух захватных элементах полный цикл изменения состояния жидкости осуществляется за поворот. Поэтому рассматривались реализации случайного процесса в пределах времени, отвечающему половине оборота улиткового питателя.

Такой отрезок времени составлял в экспериментах $0 \dots 1,56$ с. Реализации случайных процессов изменения уровня пульпы в середине приемного устройства длительностью $1,56$ с при принятых установившихся значениях показателя приведены на рис. 3.

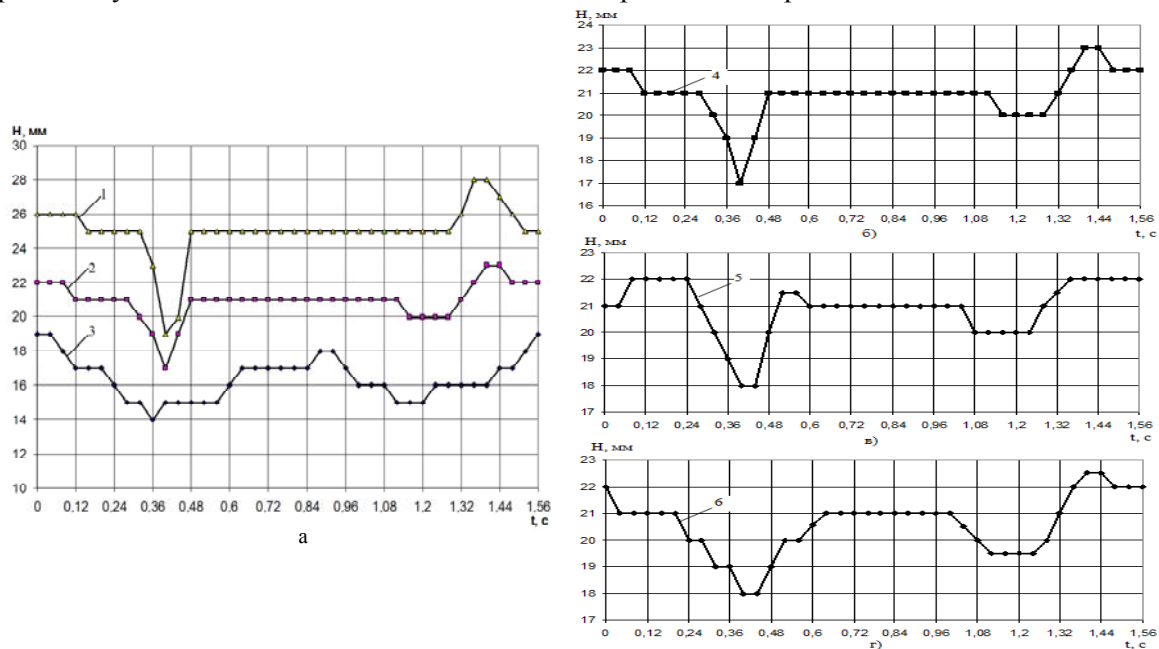


Рис. 3. Реализации случайных процессов изменения уровня жидкости в приемном устройстве по оси вращения улиткового питателя за половину оборота при различных *а* и одинаковых *б, в, г* средних значениях показателя, мм:
1 – 25; *2* – 21; *3* – 17; *4, 5, 6* – 21

С реализаций случайных процессов (рис.3*а*) видно, что интенсивность изменения уровня пульпы зависит от установившихся его значений. При наибольшем значении уровня жидкости (зависимость *1*) значительные участки процесса соответствуют установившемуся значению. При уменьшении уровня (кривые *2* и *3*) длительности этих участков сокращаются. Если установившиеся значения уровня 17 мм и меньше, такие участки становятся более короткими, составляя $0,04-0,2$ с. Участки неизменного значения уровня жидкости (рис. 3*б, г*) не являются строго фиксированными по длине реализации, особенно это актуально для небольших уровней пульпы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Изменения уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя является стационарным случайным процессом, который отличается интенсивностью в различных точках по ширине технологического агрегата.

Интенсивность случайного процесса возрастает при снижении установившегося уровня пульпы.

Параметры технологического процесса наиболее целесообразно контролировать в средней точке по ширине приемного устройства.

Полную информацию об изменении параметров жидкости в приемном устройстве несет реализация, которая отвечает половине оборота улиткового питателя. Случайный процесс имеет участки неизменных значений уровня пульпы, которые пригодны для идентификации соотношения твердое/жидкое. Длительности таких участков сокращаются с уменьшением установившегося значения уровня пульпы.

Кроме того, участки неизменных значений уровня не являются строго фиксированными по длине реализации, что необходимо учитывать при идентификации разжижения пульпы.

Проведенные исследования открывают перспективу обоснования способа поиска точки с неизменным значением уровня пульпы на реализации случайного процесса и выбора типа преобразователей, а также разработки средств идентификации технологических параметров непосредственно в приемном устройстве улиткового питателя.

Список литературы

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / **Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко** (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.

2. Деклараційний пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / **Кондратець В.О., Мацуй А.М.**; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.

3. **Триккер Р.** Бор, прибой, волнения и корабельные волны / **Триккер Р.**; пер. с англ. Г.Е. Левитиной; под ред. К.Д. Тиرون.- Л.: Гидрометеорологическое изд., 1969.- 287 с.

Рукопись постуила в редакцию 11.03.14

УДК 528.41

О.Є. КУЛКОВСЬКА, д-р техн. наук, доц., Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ КРИВОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ

В статті проаналізовано стан геодезичного забезпечення території Криворізького регіону в історичній послідовності починаючи з часу освоєння і розвитку Криворізького залізорудного басейну. Розкривається зміст та склад виконаних топографо-геодезичних робіт різними організаціями. Підкреслюється великий внесок у створення топографічних планів масштабу 1:500 на об'єкти комунального і цивільного будівництва інститутів «Укржилремпроект», «Укркомунремдорпроект», Дніпропетровського філіалу інституту «УкрвостокГІИИТИЗ», ДП «Кривбаспроект», «Укргеопроект» та інших. Послідовно описано методику використання великої кількості існуючих систем координат, що створює незручності для об'єднання даних в єдину цілісну картину. Проведений аналіз показав, що існуюча планово-висотна геодезична мережа не зможе у повному обсягу задовольнити потреби користувачів за наявної виробничої структури, науково-виробничого потенціалу, технологічного забезпечення та матеріально-технічної бази, хоча певні кроки у регіоні здійснено. Для створення належних умов і потенціалу, які забезпечили б вирішення проблеми, потрібна структурна і технологічна перебудова геодезичного забезпечення у Криворізькому регіоні із створення виробничих підрозділів з цифрової картографії в існуючих підприємствах, науково-виробничих інститутах, центрах і лабораторіях; розроблення і впровадження нових технологій, формування і функціонування автоматизованих банків даних; розроблення нормативної і правової бази, які б забезпечували вирішення вище названих завдань. Оскільки геодезичні роботи відносяться до робіт, що мають загальнодержавне значення і багатофункціональне призначення, то необхідно забезпечити і фінансування (по можливості) не тільки з державного бюджету, але й з міського бюджету із залученням коштів крупних гірничодобувних підприємств регіону.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, планово-висотне обґрунтування, системи координат, перманентна станція KRRG, гірничопромисловий комплекс.

Постановка проблеми. Освоєння й розвиток Криворізького залізорудного басейну нерозривно пов'язане із створенням і розвитком опорної планово-висотної геодезичної мережі.

Питання про належну постановку основних геодезичних задач виникло після закінчення громадянської війни, коли почали розвиватися топографо-геодезичні роботи, викликані потребами господарчого будівництва.

Вище геодезичне управління і Корпус військових топографів, розуміючи, що старі дореволюційні геодезичні мережі можуть грати роль опори тільки в невеликому числі районів країни, прийняли заходи щодо розробки схеми і програми побудови державної триангуляції, яка могла б дати єдиний звіт результатів топографо-геодезичних робіт і забезпечити опорними пунктами всякого роду зйомки.

Викладення основного матеріалу. Сьогодні на території Кривого Рогу визначено 353 пунктів триангуляційної мережі, 36 пунктів аналітичної мережі та 2950 пунктів полігонометрії. Всі ці пункти були закладені і визначені по мірі розвитку гірничопромислового комплексу Кривбасу в період із 1909 по 1978 рр.

Перша схема побудови триангуляції 1 класу, прийнята Вищим геодезичним управлінням і Корпусом військових топографів у 1924 р., передбачала побудову 14 великих полігонів, які розміщувалися на Європейській частині СРСР, розташованій на південь від 60-ї паралелі.

Одним із основних напрямів створеного у 1919 р. Вищого геодезичного управління було виконання топографо-геодезичних робіт у Кривбасі, поряд із Підмосковним кам'яновугільним басейном і Уралом [2].

Третя геодезична нарада (1928 р.) прийняла ряд дуже важливих рішень, що стосувалися постановки топографо-геодезичних робіт у країні. Було прийнято рішення про введення в СРСР єдиної системи прямокутних координат Гаусса-Крюгера [3].