

Инженерно-геодезические изыскания при строительстве гидроэлектростанций

¹**МАДИМАРОВА Гульмира Сурабалдиевна**, к.т.н., ассоциированный профессор, madimarovagulmira69@gmail.com,

¹**НУРПЕИСОВА Толеужан Байболовна**, к.т.н., профессор, ntb_2009@mail.ru,

^{2*}**СУЛЕЙМЕНОВА Диана Нурбакытовна**, старший преподаватель, suleymenovad81@gmail.com,

³**ЖАНТУЕВА Шынар Айбековна**, старший преподаватель, shnar19610408@gmail.com,

¹**КАЙРАТОВ Даулет Аскатулы**, докторант, kairatovd4@gmail.com,

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,

²НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,

³НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», пр. Абая, 8, Алматы, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Обосновано применение новых технологий для создания современной топографической основы с целью обеспечения питьевой водой населенные пункты Туркестанской области площадью 600 га. Современные методы позволяют комплексно решать основные задачи при создании современной топографической основы для технико-экономического обоснования под строительство группового трубопровода с каскадом гидроэлектростанций. В ходе работ по объекту учитывались природные и инфраструктурные особенности данного района, а также локальность участков данного проекта, работы были выполнены наземным и аэрофотограмметрическим способом. Для решения этой задачи использовались – двухчастотный GPS приемник Stonex S800 и беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 RTK/PPK. Также были использованы тахеометры фирмы Leica TS06 для сгущения и уравнивания вновь заложенных реперов. Разработка и внедрение новых технологий производства геодезических работ, подкрепленных соответствующим уровнем автоматизации, всегда ведутся с целью сокращения временных сроков на сбор и обработку данных. Программа Agisoft Fotoscan является автономным программным продуктом, которая предназначена для выполнения фотограмметрической обработки цифровых изображений и генерирует 3D-пространственные данные для использования в приложениях ГИС.

Ключевые слова: мониторинг, репер, сгущение, оцифровка, аэрофотограмметрическая съемка, наземная съемка, тахеометр, беспилотный летательный аппарат, трубопровод, современный метод.

Введение

Мировым трендом развития экономики и общества является цифровизация. Причем цифровизация – это преобразование данных в цифровую форму для решения отдельных задач и возможность создания платформ с необходимым набором функций.

Для решения задач инженерно-топографических изысканий при строительстве группового водопровода с каскадом гидроэлектростанций, направленного на обеспечение их нормального и безаварийного функционирования, имеются соответствующие

методики и технологии. При этом наблюдается тенденция их усовершенствования, переориентации с применением традиционной приборной базы (тахеометры, теодолиты, нивелиры и т.д.) на качественно новый уровень, связанный прежде всего с автоматизацией геодезических работ.

Новым решением инженерно-топографических изысканий инженерных сооружений является совмещение данных, полученных с применением метрических трехмерных моделей, построенных с помощью новых технологий.

В данной работе предлагается методика применения GPS приемника Stonex S800 и беспилотного летательного аппарата (DJI Phantom 4 RTK/PPK), которые позволяют проводить оперативный мониторинг изменения геометрии объектов сложной конфигурации, наземным и аэрофотограмметрическим способом [1-3].

Общие сведения об объекте

С каждым годом в республике наблюдается дефицит электроэнергии. Только в Туркестанскую область от внешних генерирующих источников поставляется около 80% необходимой электроэнергии, при потребности в 320 мегаватт.

В целях привлечения инвестиций в Туркестанскую область реализуются масштабные проекты. Один из них – «Каскад гидроэлектростанций в Туркестанской области». В результате внедрения проекта будет сформировано 110 млн кубометров воды, и на юге Туркестанской области решится проблема обеспечения около одного миллиона жителей питьевой водой.

Строительство группового водопровода с каскадом гидроэлектростанций в Казыгуртском районе позволит обеспечить качественной питьевой водой около миллиона жителей пяти районов – Казыгуртского, Сарыагашского, Келесского, Жетысайского и Мактааральского (рисунок 1).

Разработка технико-экономического обоснования проекта состоит из двух этапов.

На первом этапе проектируется групповой водопровод из ущелья до населенного пункта Жанабазар со строительством каскада ГЭС. Семь из них предполагается построить непосредственно вдоль русла реки, еще три – по групповому водопроводу.

На втором этапе проектировщики разрабатывают проект группового водопровода для обеспечения питьевой водой южные районы

области.

Конечно, есть проблемные вопросы, связанные с экологией, поскольку долина Казыгуртского района – единственная замкнутая горная долина в южном регионе Казахстана, где не нарушена экологическая среда. Там обитают редкие животные, богат растительный мир.

Для осуществления проекта необходима поддержка со стороны Правительства в оформлении необходимого земельного участка. Кроме решения вопросов экологии и земельного отвода, регион обозначил еще ряд проблем, требующих содействия центральных органов в их решении. Так, силами инвестора предусматривается строительство водопровода до села Жанабазар в Казыгуртском районе. Протяженность до резервуара составляет 40 км. Необходимо решить вопрос по строительству магистральных сетей водоснабжения от резервуара до населенных пунктов Казыгуртского, Сарыагашского, Мактааральского, Жетысайского, Шардаринского районов силами РГП «Казводхоз».

Проект предусматривает строительство магистрального водопровода от резервуара до населенных пунктов, а также проектирование и строительство подстанции 110-35 кВ для выдачи мощности от каскада ГЭС.

Методика и разработка

Для определения плана действий перед началом полевых изысканий были выбраны следующие картографические материалы:

1. Каталог координат и высот точек, которые принадлежат Государственной геодезической сети.

2. На участке съемки обнаружены полевые автотрассы, общедоступные асфальтированные дороги, воздушные линии электропередач с напряжением 110 КВ, газопровод, жилые и нежилые здания, сады,



Рисунок 1 – Каскад гидроэлектростанций в Туркестанской области

посевные участки, реки и места для сенокоса, а также рекреационная зона «Коктен» (рисунок 2).

Были выполнены фотографии отдельных участков на месте проведения работ, таких как горная местность на трассе планируемого трубопровода, газопровод, линии электропередач и базы отдыха. А также были найдены и зафиксированы на фото пункты государственной геодезической сети [4-6].

Перед началом работ была проведена полная рекогносцировка местности, включающая определение ближайших пунктов геодезической государственной сети. Далее мы осуществили создание планово-высотной локальной системы, привязав ее к указанным пунктам геодезической государственной сети. В дополнение к этому установили временные пункты локальной геодезической сети в непосредственной близости к участку, где проводились работы (см. таблицу 1).

Вся работа по снятию измерений производилась с использованием спутникового оборудования GPS-системы геодезического класса. Для этого был задействован прибор фирмы «Stonex» – комплект высокоточного геодезического GPS-оборудования STONEX S800. Этот комплект включает в себя двухчастотные GPS-приёмники, которые работают в режиме реального времени. Благодаря этому оборудованию мы смогли получить точные и надежные данные о снятых измерениях.

А также для аэрофотосъемки был использован БПЛА Phantom 4 RTK – представляет собой базовую модель DJI Phantom 4, дополнительно оснащенную модулем RTK и мобильной станцией D-RTK 2, предназначенный для агрегации точных картографических данных. Благодаря ультрасовременному модулю RTK БПЛА может принимать информацию с точностью по горизонтали: 1 см + 1 мм и высокой точностью позиционирования по вертикали: 1,5 см + 1 мм.

Воздушная съемка с использованием метода RTK дает абсолютную точность фотограмметрической модели по горизонтали: 5 см. Высокое качество картографии или данных об объекте в значительной степени зависит от возможностей съемочной системы.

Поэтому какие бы задачи вы ни решали – создание карт или просто сбор требующихся вам данных – все будет сделано идеально. Высокое разрешение поможет достичь наземного разрешения в 2,74 см при высоте полета 100 м. А поскольку нам нужна максимальная точность, то для каждого объектива системы будет выполнен процесс калибровки, включающий измерение радиального и тангенциального искажения.



Центр пункта триангуляции «Куманбулак»
(3 класс)



Газопровод и линия ЛЭП-10кВ пересекающие
ось предполагаемого трубопровода



Зона отдыха на оси предполагаемой трассы
трубопровода

Рисунок 2 – Фотографии отдельных участков на месте проведения работ

Данные о дисторсии, полученные в процессе, будут сохранены в метаданных кадра, чтобы в последующей постобработке иметь возможность индивидуального подхода к каждому снимку. Перед началом полевых работ все используемые приборы были тщательно осмотрены, прошли необходимый ремонт и проверку.

Результаты работ

Камеральная обработка полученных данных выполнялась при помощи современного программного обеспечения. Обработка, уравнивание, создание и вычерчивание

цифровых топографических планов проводились с использованием программного комплекса Credo III. Данный программный комплекс позволяет создавать графические информационные системы различного назначения и выполнять картографические работы.

Топографическая съемка выполнялась согласно нормативным документам и инструкциям. В ходе выполнения съемки также проводился контроль точности посредством анализа горизонтального положения между пунктами.

В таблице 2 приведены координаты и высоты геодезических пунктов.

В процессе съемки были составлены детальные абрисы объектов, указывающие

номера пикетов и результаты измерений, а также качественно-количественные характеристики местности, чтобы облегчить камеральную обработку данных, полученных с помощью тахеометрической съемки (рисунок 3).

Работы по камеральной обработке полученных полевых данных в программе Agisoft PhotoScan.

На основе цифровых фотографий программа Agisoft PhotoScan автоматически создает 3D-модели объектов высокого качества, для реконструкции объекта в Agisoft PhotoScan достаточно загрузить фотографии. Программа позволяет сохранить текстурированную 3D-модель в различных форматах – VRML, Wavefront OBJ, 3DS, Stanford

Таблица 1 – Наименование выполненных работ

	Наименование работ	Категория слож	Ед. изм	Кол-во	
				план	факт
1	Рекогносцировка местности. Составление плана выполнения работ.	III	км	34	40,65
2	Определение участка проведения работ. Задание ширины коридора топографической съемки.	III	км	34	40,65
3	Привязка участка проведения работ государственной геодезической сети.	III	шт	5	3
4	Закрепление точек съемочного обоснования и углов поворота трассы.	III	шт	42	41
5	Аэрофотограмметрическая съемка участка работ. Съемка участка работ с помощью беспилотных летательных аппаратов.	III	Га	600	900
6	Камеральные работы. Камеральная обработка в программном комплексе Agisoft Fotoscan, составление ортофотоплана местности.	III	Га	600	900
7	Камеральные работы. Составление топографического плана местности в масштабе 1:2000.	III	лист	24	24

Таблица 2– координаты и высоты геодезических пунктов

Идентификатор пункта, тип знака, центра	Класс		Координаты, МСК		Высота, м БС (1977г.)
	трианг.	нивелир.	X	Y	
Исходные пункты государственной сети					
Куманбулак, пирамида (утрачена), центр в сохранности, бет. тур	3	IV	8383,191	118,672	38,977
Куланаяк, пирамида (утрачена), центр в сохранности, бет. тур	3	IV	7331,591	68,548	38,804
Высота 2040, пирамида (утрачена), центр в сохранности, бет. тур	3	IV	8462,022	802,859	40,492

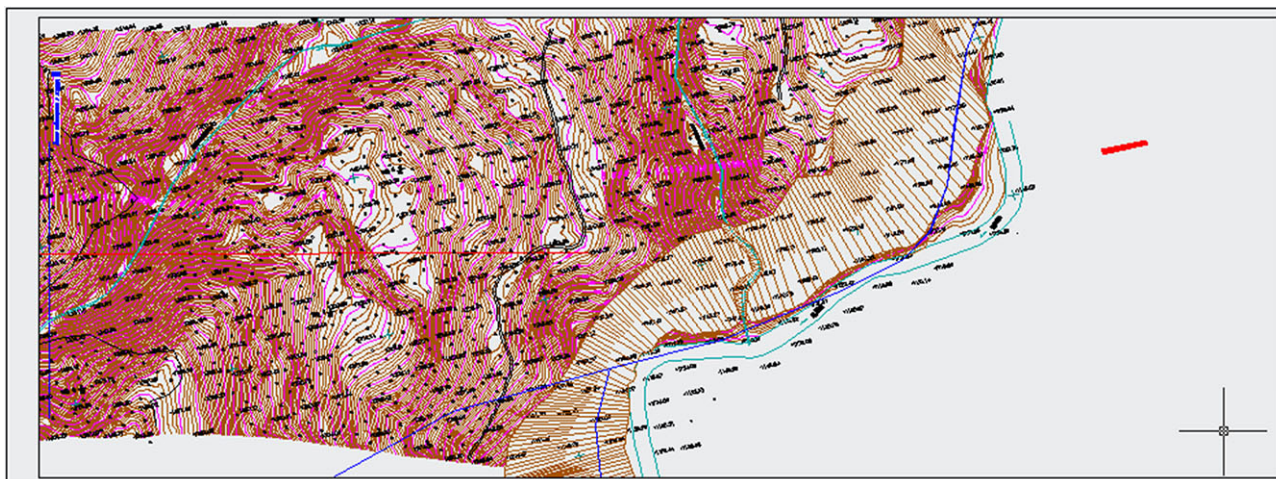


Рисунок 3 – Топографическая съемка участка

PLY, COLLADA, PDF, U3D.

Agisoft PhotoScan способен обрабатывать любые фотографии, снятые любым цифровым фотоаппаратом, с любых ракурсов. Главное, чтобы каждый элемент реконструируемого объекта был виден хотя бы с двух позиций съемки. Если в программу ввести хотя бы одно расстояние между точками объекта или позициями съемки, Agisoft PhotoScan восстанавливает масштаб всей модели и позволяет определять расстояния между любыми точками объекта и вычислять площадь и объем объекта или его частей.

Программа автоматически привязывает модель к данной системе координат, позволяет вычислять проекцию модели на заданную поверхность (ортофотоплан), матрицу высот относительно заданной поверхности (DEM), сохранять ортофотоплан и DEM в различных форматах и системах координат. [7-13].

Восстановление текстурированной 3D-модели объекта осуществляется в 4 этапа.

1. Определение положений и параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер.

2. Построение облака точек.

3. Построение полигональной модели объекта. Используя PhotoScan, строит трехмерную полигональную модель, описывающую форму объекта, на основании плотного облака точек (рисунок 4).

4. Текстурирование объекта. Данный этап включает в себя текстурирование и/или построение ортофотоплана.

Обработка фотографий происходит в автоматизированном режиме и не требует предварительной калибровки камер или ручной маркировки фотографий (рисунок 5).

Все работы, связанные с составлением топографической съемки и последующим созданием цифровых планов, были выполнены в полном объеме в соответствии с инструкциями и условными знаками. Полученные технические характеристики соответствуют требуемой точности, указанной в нормативных документах.

Поэтому продукция, полученная в процессе выполнения работ (цифровые планы на электронных носителях), может быть полностью использована в качестве информационной и топографической основы при принятии технических решений в процессе планирования и реализации мероприятий, направленных на обеспечение оперативных решений.

Заключение

Все этапы инженерно-геодезических изыскательных работ выполнялись современными геодезическими приборами и новейшим программным обеспечением.

Основная идея разработанной технологии заключается в минимизации стоимости комплекса аэрофотосъемки при сохранении высоких требований к точностным характеристикам конечной продукции (ортофотоплан), полученным за счет фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки.

Благодаря возможностям Agisoft PhotoScan положение сканов может регистрироваться прямо в полевых условиях, что позволяет автоматически создавать высококачественные 3D-модели объектов на основе цифровых фотографий и никакой дополнительной информации не требуется.

Преимуществом данного построения является меньший объем временных затрат по

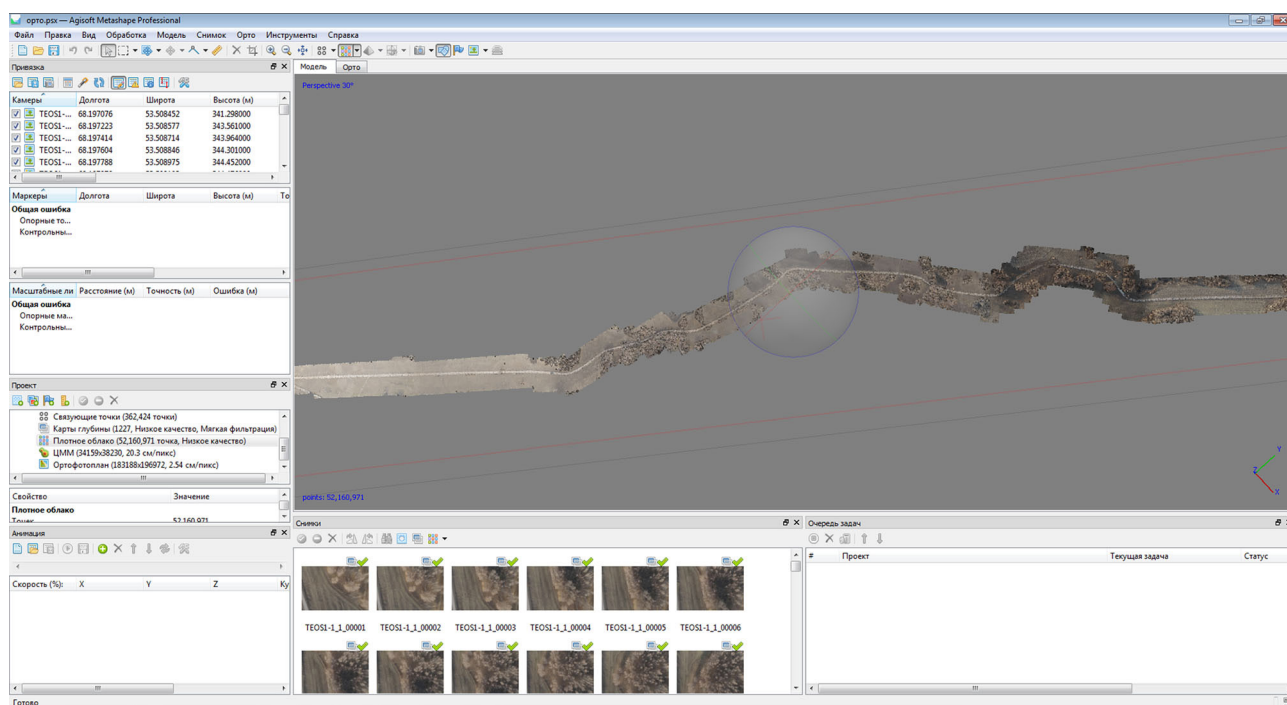


Рисунок 4 – Обработка съемки в программе Agisoft PhotoScan. Professional Edition

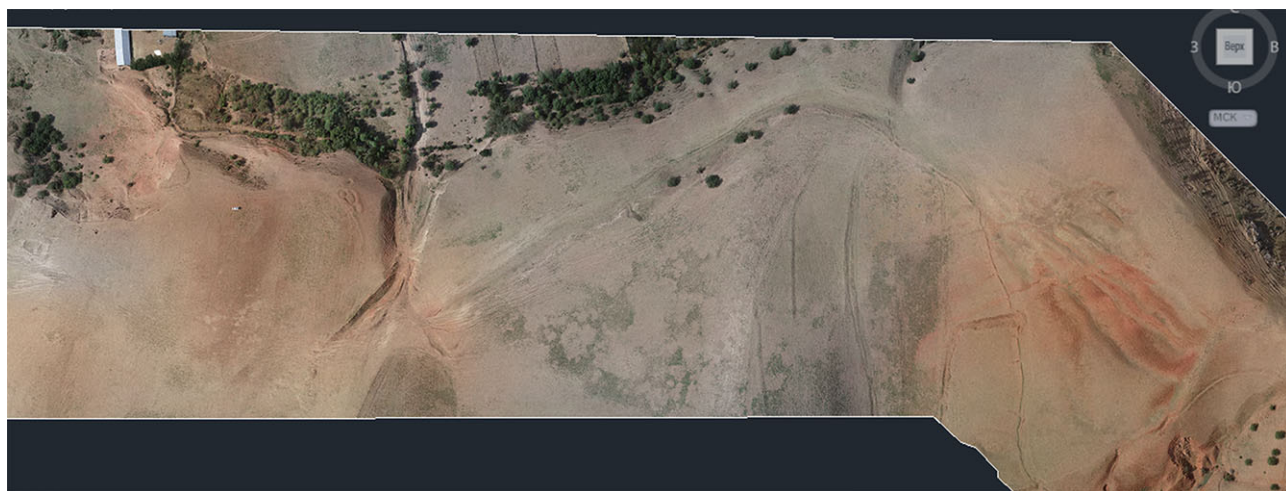


Рисунок 5 – Снимки с беспилотника. Ортофотоплан местности

созданию планово-высотной сети, при этом проложение сканерных ходов наиболее эффективно при БПЛА гидротехнических со-

оружий. Элементы данного построения целесообразно применить и в рамках разрабатываемой методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арчин Т., Мадимарова Г.С. Геодезический мониторинг деформационных процессов гидротехнических сооружений. Алматы, 2014.
2. Деметьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Академический Проект, 2018. – 591 с.
3. Касымканова К.М., Мадимарова Г.С. Геодезическое обеспечение монтажных работ и геодезический контроль в строительстве: Учебное пособие. – Алматы: КазНТУ, 2012.
4. Кубыгулова И.Б., Мадимарова Г.С. Инженерно-геодезические изыскания при строительстве подстанции // Международная научная конференция студентов и молодых учёных «ФАРАБИ ЭЛЕМИ». Алматы, 2022.
5. Мадимарова Г.С., Сулейменова Д.Н., Жантуева Ш.А., Арчин Т. Геодезическое обеспечение при реконструкции и восстановлении плотины на реке Кызылагаш // The scientific heritage #vol 1, No. 76. ISSN 9215-0365 (Budapest, Hungary). С. 68-72 (октябрь 2021).
6. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с. ISBN 978-5-9905685-4-9
7. Остославский И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов / И.В. Остославский. – М.: ЁЁ Медиа, 2016. – 413 с.
8. Сулейменова Д.Н., Пентаев Т., Мадимарова Г.С. Использование глобальных навигационных спутниковых систем при строительстве уникальных зданий // Вестник «Промышленный транспорт Казахстана». № 1. 2020. С. 93-97.
9. Технический отчет по инженерно-геодезическим изысканиям. Проект: 08-2021-5-ТОПО ТОМ 5. 2021. – 21 с.
10. СП РК 2.04-01-2017 – «Строительная климатология» Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. Свод правил Республики Казахстан.
11. СНиП РК 1.02-18-2014 – «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
12. Техническое описание тахеометров фирмы Leica и инструкция эксплуатации. <http://www.credo-dialogue.com>
13. <http://www.geoprofi.ru>

Су электр станциясын салу кезіндегі инженерлік-геодезиялық ізденістер

¹**МАДИМАРОВА Гульмира Сурабалдиевна**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, madimarovagulmira69@gmail.com,

¹**НУРПЕИСОВА Толеужан Байболовна**, т.ғ.к., профессор, ntb_2009@mail.ru,

²***СУЛЕЙМЕНОВА Диана Нурбакытовна**, аға оқытушы, suleymenovad81@gmail.com,

³**ЖАНТУЕВА Шынар Айбековна**, аға оқытушы, shnar19610408@gmail.com,

¹**КАЙРАТОВ Дәулет Асқатұлы**, докторант, kairatovd4@gmail.com,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,

²«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан,

³«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Ауданы 600 га Түркістан облысының елді мекендерін ауыз сумен қамтамасыз ету мақсатында заманауи топографиялық негіз құру үшін жаңа технологияларды қолдану негізделген. Қазіргі заманғы әдістер суэлектрстанциялар каскадымен топтық құбыр салу үшін техникалық-экономикалық негіздеме үшін заманауи топографиялық негіз құру кезінде негізгі міндеттерді кешенді шешуге мүмкіндік береді. Объект бойынша жұмыс-

тар барысында осы ауданның табиғи және инфрақұрылымдық ерекшеліктері, сондай-ақ осы жоба учаскелерінің локализациясы ескерілді, жұмыстар жерүсті және аэрофотограмметриялық тәсілмен орындалды. Бұл мәселені шешу үшін stonex S800 екі жиілікті GPS қабылдағышы және DJI Phantom 4 RTK/PPK ұшқышсыз ұшағы пайдаланылды. Leica ts06 фирмасының тахеометрлері жаңадан салынған реперлерді қоюлау және теңестіру үшін де пайдаланылды. Автоматтандырудың тиісті деңгейімен нығайтылған геодезиялық жұмыстарды өндірудің жаңа технологияларын әзірлеу және енгізу әрдайым деректерді жинау мен өңдеуге арналған уақыт мерзімдерін қысқарту мақсатында жүргізіледі. Agisoft fotoscan бағдарламалары сандық кескіндерді фотограмметриялық өңдеуге арналған және ГАЖ қосымшаларында пайдалану үшін 3D кеңістіктік деректерді шығаратын дербес бағдарламалық өнім болып табылады.

Кілт сөздер: мониторинг, репер, жиілету, цифрландыру, аэрофотограмметриялық түсіру, жер түсіріс, тахеометр, ұшқышсыз ұшу аппараты, құбыр, заманауи әдіс.

Engineering and Geodetic Developments in The Construction of a Hydroelectric Power Station

¹**MADIMAROVA Gulmira**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, madimarovagulmira69@gmail.com,

¹**NURPEISOVA Toleuzhan**, Cand. of Tech. Sci., Professor, ntb_2009@mail.ru,

²***SULEIMENOVA Diana**, Senior Lecturer, suleymenovad81@gmail.com,

³**ZHANTUEVA Shinar**, Senior Lecturer, shnar19610408@gmail.com,

¹**KAIRATOV Daulet**, Doctoral Student, kairatovd4@gmail.com,

¹NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22a, Almaty, Kazakhstan,

²NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», Al-Farabi Avenue, 71, Almaty, Kazakhstan,

³NPJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Abay Avenue, 8, Almaty, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The use of new technologies to create a modern topographic base in order to provide drinking water to settlements of the Turkestan region with an area of 600 hectares is substantiated. Modern methods make it possible to comprehensively solve the main tasks when creating a modern topographic basis for a feasibility study for the construction of a group pipeline with a cascade of hydroelectric power plants. During the work on the object, the natural and infrastructural features of the area were taken into account, as well as the locality of the sections of this project, the work was carried out by ground and aerial photogrammetric method. To solve this problem, the Stonex S800 dual-frequency GPS receiver and the DJI Phantom 4 RTK/PPK unmanned aerial vehicle were used. Total stations of the Leica TS06 company were also used to thicken and equalize the newly laid reference points. The development and implementation of new technologies for the production of geodetic works, supported by an appropriate level of automation, are always carried out in order to reduce the time frame for data collection and processing. Agisoft Fotoscan software is a standalone software product that is designed to perform photogrammetric processing of digital images and generates 3D spatial data for use in GIS applications.

Keywords: monitoring, reference point, thickening, digitization, aerial photogrammetric survey, ground survey, total station, unmanned aerial vehicle, pipeline, modern method.

REFERENCES

1. Archin T., Madimarova G.S. Geodezicheskij monitoring deformatsionnyh processov gidrotekhnicheskikh sooruzhenij. Almaty, 2014.
2. Dement'ev V. E. Sovremennaya geodezicheskaya tekhnika i ee primeneniye: Uchebnoye posobie dlya vuzov. – 2-e izd. – Moscow: Akademicheskij Proekt, 2018. – 591 p.
3. Kasymkanova K.M., Madimarova G.S. Geodezicheskoe obespechenie montazhnyh rabot i geodezicheskij kontrol' v stroitel'stve: Uchebnoye posobie. – Almaty: KazNTU, 2012.
4. Kubygulova I.B., Madimarova G.S. Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya pri stroitel'stve podstancii // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya studentov i molodyh uchyonnyh «FARABI ƏLEMI». Almaty, 2022.
5. Madimarova G.S., Sulejmenova D.N., ZHantueva SH.A., Archin T. Geodezicheskoe obespechenie pri rekonstrukcii i vosstanovlenii plotiny na reke Kyzylagash // The scientific heritage #vol 1, No. 76. ISSN 9215-0365 (Budapest, Hungary). Pp. 68-72 (oktyabr' 2021).
6. Moiseev V.S. Osnovy teorii effektivnogo primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov: monografiya. – Kazan': Redakcionno-izdatel'skij centr «SHkola», 2015. 444 p. ISBN 978-5-9905685-4-9
7. Ostoslavskij I.V. Dinamika poleta. Traektorii letatel'nyh apparatov / I.V. Ostoslavskij. – Moscow: YOYO Media, 2016. – 413 p.
8. Sulejmenova D.N., Pentaev T., Madimarova G.S. Ispol'zovanie global'nyh navigacionnyh sputnikovyyh sistem pri stroitel'stve unikal'nyh zdaniy // Vestnik «Promyshlennyy transport Kazahstana». № 1. 2020. Pp. 93-97.
9. Tekhnicheskij otchet po inzhenerno-geodezicheskim izyskaniyam. Proekt: 08-2021-5-TOPO TOM 5. 2021. – 21 p.
10. SP RK 2.04-01-2017 – «Stroitel'naya klimatologiya» Gosudarstvennyye normativy v oblasti arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. Svod pravil Respubliki Kazahstan.
11. SNiP RK 1.02-18-2014 – «Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnyye polozheniya».
12. Tekhnicheskoe opisanie taheometrov firmy Leica i instrukciya ekspluatacii. <http://www.credo-dialogue.com>
13. <http://www.geoprofi.ru>