

ДО МЕТОДИКИ АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



ВЕЛИКОМАСШТАБНІ ДИСТАНЦІЙНІ ОБМІРИ В ДОСЛІДЖЕННІ ПАМ'ЯТОК КУЛЬТУРИ

(на прикладі археологічних та
архітектурних пам'яток)

С. Д. Крижицький,
В. О. Катушков, О. О. Паршина

Фотограмметричні методи широко використовуються в різних галузях народного господарства: машинобудуванні, авіації, медицині, спорті, будівництві тощо. Найчастіше фотограметрія використовується в зніманих масштабах — 1 : 50, 1 : 100, 1 : 200. Дистанційні методи вимірювань можна застосовувати і в археологічних дослідженнях. З точки зору великомасштабної зйомки особливістю археологічних об'єктів є те, що часто серед них відсутні загальні фронтальні та горизонтальні площини, які добре розпізнаються в архітектурі. Розкопані об'єкти знаходяться на різних глибинах та відстанях у різних ракурсах. Нестандартність конструкцій та необхідність проведення зйомок у більш крупних, ніж звичайно, масштабах — 1 : 10, 1 : 20, 1 : 50 та рідше — 1 : 100, також надає специфіки зйомці археологічних об'єктів.

Слід підкреслити, що залучення для обмірів археологічних об'єктів прикладної фотограметрії дає можливість оперативно дістати великий обсяг інформації, необхідної для дальших наукових досліджень.

Це особливо важливо за умов охоронних археологічних робіт, пов'язаних з новобудовами, коли досліджувана пам'ятка підлягає повному чи частковому знищенню, а строки робіт занадто стислі.

На основі фотознімків можна здобути просторову математичну модель відзнятого об'єкта. Або, при певних умовах, проводити стереоскопічну зйомку, яка дозволяє дістати стереоскопічну модель об'єкта з безпосереднім просторовим сприйняттям. Стереомодель тривалий час зберігає максимум інформації, з високою точністю відновлює картину стану пам'ятки на час розкопок. Методи зйомки залежать від структури оброблюваного об'єкта. Якщо об'єкт складається з ряду площин (стіни, вулиці та ін.), можна використовувати прості методи фототрансформування з масштабною та перспективною зміною зображення об'єкта, зафіксованого на знімку. В цьому випадку зображення може збільшуватись чи зменшуватись, а також можна лінійно змінювати пропорції вздовж чи впоперек зображення. При більш складних структурах, з наявністю поверхонь іншого порядку, тобто криволінійних (поверхні куполів, колон, арокних перекриттів), необхідні стереоскопічні знімки, які обробляються на універсальному фотограмметричному устаткуванні. Стереознімки фотографуються за спеціально розробленими методами зйомки. При дослідженнях історико-культурних об'єктів потреба в таких знімках очевидна.

На противагу стереознімкам в наукових архівах зберігаються звичайні неметричні знімки, не пристосовані до фотограмметричної обробки. Вони здобуті у різний час з різних ракурсів звичайними фотоапаратами. Перед фотографіями не стояло завдання дістати зображення тільки об'єкта. Часто на його фоні знімалися окремі персони чи групи людей, які загороджували досліджувану поверхню. Відмінності між такими знімками у розмірах, нахилах фотоапарату, видимості одноіменних ділянок об'єкта не дають можливості створити повноцінну стереоскопічну модель. Проте існують методи, що дозволяють обробляти подібні знімки. До них належить аналітична обробка знімків із заміною стереоскопічної моделі чисельною з наступним здобуттям графічної документації в ортогональних проекціях¹.

Аналогічними методами оброблені знімки ряду пам'яток культури: Успенський собор Києво-Печерської лаври, Михайлівський собор у селищі Голоби², костюль місіонерів в м. Ізяславі,

залишки будинків середньовічного Партеніту. На відміну від останньої пам'ятки, на перелічених об'єктах оброблялись архівні знімки, відзняті кілька десятиріч тому (50 – 80 років).

При дослідженні здійснювалась аналітична обробка відібраних знімків (Успенський собор) чи одного знімка (Михайлівський собор), яка дає можливість здобути найповнішу інформацію, тобто визначити елементи орієнтування фотографій, місцезнаходження фотографа, фокусну відстань фотоапарата та інші необхідні дані для наступної обробки. В результаті враховуються напрями та характерні (ті, що видно) точки об'єкта. Перехрещення напрямів із знімків, відзнятих з різних місць, допомагає визначити просторове положення крапок, з яких складається об'єкт. Подібна обробка можлива з використанням ЕОМ.

Досвід експериментальних робіт з впровадженням прикладної фотограметрії в археологію показав, що здобуті й позитивні результати при обробці знімків, відзнятих любительською кінокамерою.

Нижче коротко викладено порядок та особливості проведення фотограметричних робіт під час зйомки археологічних об'єктів.

Неметричні камери мають не тільки недоліки, а й беззаперечну перевагу відносно метричних. До основних недоліків відносяться — велика ісортоскопичність об'єктів, тобто перекручення геометричної тотожності форм об'єкта та його зображення на фотоплівці. Проте під час дослідження³ цей недолік можна суттєво зменшити. Неметричні камери дуже зручні в роботі та дозволяють у кілька разів зменшити час польових зйомок, а це, враховуючи специфічність археологічних розкопок, дуже важливо.

Існують і камери, виготовлені на базі любительської апаратури, пристосовані для метричних вимірів. До таких камер належать: СКІ-8⁴, СКІФ-1⁵, ОФП 5,2 06⁶, ІФ-4 та ін. Вони розроблені в різних організаціях і серійно не випускаються.

Перелічені камери дозволяють одночасно дістати два знімки, за якими відтворюється стереоскопічна модель об'єкта. Обробка стереомоделі з малюнком контурів здійснюється на універсальному фотограметричному устаткуванні: стереопроектор Романівського СПР, стереограф Дробішева СД, стереограф СЦ-1, комплекс «Надир», технокарт, топокарт, стереоавтограф та ін.

При аналітичній обробці знімки вимірюються на прецизійних приладах — стереокомпараторі, стекометрі, СКА-18, СКА-30, аскаркорді та ін. з помилкою виміру — 0,01 – 0,002 мм.

В результаті аналітичної обробки вимірів знімків на ЕОМ обчислюється цифрова модель об'єкта з рядом просторових координат, характерних точок. Кількість точок при використанні великих ЕОМ із записом даних на зовнішніх носіях пам'яті не обмежується. Цифрова модель виражається матрицею чисел, які в майбутньому можуть уявлятися у вигляді графічної інформації — плану, карти, схеми тощо.

Графічна інформація здобувається викреслюванням цифрових даних на автономних чи автоматичних координатографах, безпосередньо пов'язаних з ЕОМ. Із цифрових моделей окремих об'єктів можна створити банк даних, що являє собою сукупність об'єктів, які зберігаються на магнітних носіях ЕОМ. Це зручна і надійна форма зберігання інформації, яка в разі необхідності надається досліднику у цифровій чи графічній формі.

Модель об'єкта може виражатись і на фотоплівках з відзначенням характерних (контрольних) точок, просторові координати яких визначені. До характерних належать точки, розташовані по краях об'єкта, тобто ті, які визначають його форму та розміри. Їх кількість може бути різною. Але при визначенні їх просторового положення треба прагнути до зменшення кількості, що веде до підвищення продуктивності польових робіт. Чим менше точок, тим точніше та швидше їх можна визначити.

Так, якщо об'єкт виражається кубом, то для його відтворення достатньо знати 2 кутові точки. Якщо об'єкт правильної прямокутної форми, то необхідно визначити 4 точки. З них — три у плані та одну за висотою.

Безліч інших точок, сукупність яких створює образ об'єкта, фіксуються на фотознімках. Просторове положення кожної помітної точки з цієї безлічі обчислюється за вимірами знімка та елементами орієнтування, які нам відомі чи визначаються за характерними точками.

Природно, що при довільній формі об'єкта кількість та розміщення характерних точок зміниться. Мінімальна кількість — 5. При наступній обробці кількість інших точок може бути збільшено до нескінченності.

Цифрова модель з малою вихідною кількістю характерних точок використовується як основа для наступної обробки знімків на універсальних приладах чи використовується в методі трансформування, при якому монтується фотоплан об'єкта.

Враховуючи багатомасштабність археологічної зйомки та значну глибину досліджуваних об'єктів, використовуваний у аерофотозйомці метод фототрансформування з урахуванням зон трансформування малоефективний чи зовсім неможливий. У цьому випадку доречно використовувати фототрансформатор як проєкційний прилад з графічним обведенням проєктованих контурів, що знаходяться у обчислених наперед зонах.

Під час експериментальної зйомки середньовічного Партеніту (селище Фрунзенське Крим-

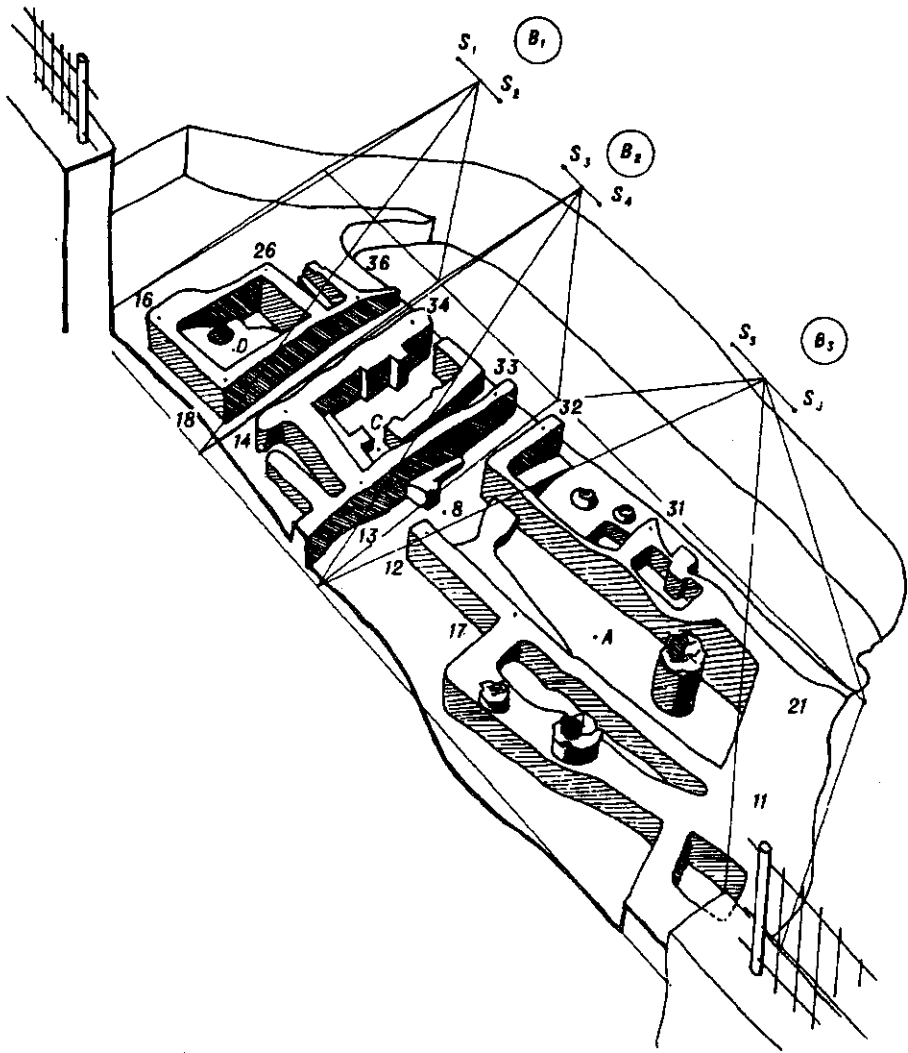


Рис. 1. Базиси зйомки та контрольні точки Партеніту-86.

ської області) використовувалася одиночна камера ІФ-4. Для більшого огляду та одержання максимуму інформації зйомка проводилася з різних ракурсів, що розміщувалися на довільних відстанях від оброблюваного об'єкта.

Поодинокі знімки перекривалися між собою, створюючи в зонах перекриттів часткову стереомодель об'єкта. Це викликано значною різницею в куткових елементах орієнтування (нахилах фотокамери). Наступна аналітична обробка дозволила створити цифрову модель об'єкта та вписати в неї графічно зображення окремих зон знімків, розміщених між характерними точками.

За рахунок значних різниць куткових елементів орієнтування стереоефект спостерігається лише на малих ділянках моделі. При цьому аналітично здобута цифрова модель об'єкта та графічно в неї вписане зображення окремих зон знімків.

Для створення цифрових моделей трьох будинків було відзнято шість знімків з трьох базисів (B_1, B_2, B_3), що розміщувалися безпосередньо над відповідними групами приміщень, на висоті 5 – 7 м (рис. 1).

Знімальні камери встановлювалися над розкопками. Над кожною садибою відзнято по два знімки з 70 – 80 % поздовжнім перекриттям, що дозволило провести пряму фотограмметричну засічку контурів. При цьому обчислені просторові координати ряду характерних точок, розміщених на фундаментах приміщень.

Перед розрахунком до ЕОМ вводилися вихідні дані, що складаються з вимірів знімків та просторових координат контрольних точок, попередньо визначених геодезично на території

об'єкта. Для розпізнання на знімках одні контрольні точки маркірувалися на горизонтальних поверхнях кам'яної кладки, інші закріплювалися чорно-білими металічними штирями. Як вказувалося вище, для аналітичного вирішення задачі для двох знімків достатньо закріпити п'ять контрольних точок. Але при цьому задача розв'язується майже без контролю. Оскільки здійснювався аналіз робіт, то кількість контрольних точок було збільшено. Погрішність координат контрольних точок планово-висотного обґрунтування в натурі не перевищувала $\pm 5+10$ мм.

З досвіду відомо, що погрішності кінцевого результату аналітичної обробки некаліброваних знімків можуть збільшуватися відносно погрішностей вихідних даних у кілька разів. Відповідно до цього під час підрахунку можна було чекати появи погрішностей у 20 – 30 мм, а на кутах знімків і більших значень.

Для зменшення розміру погрішностей координати знімків калібрувалися (виправлялись за коефіцієнтами симетричного полінома, розміри якого здобуті раніше при дослідженні камери на просторовому лабораторному полігоні). Калібровка координат знімків виконувалася перед введенням даних до ЕОМ.

У наведеній таблиці представлені розміри середніх квадратичних погрішностей контрольних точок, визначених за відзнятими та відкаліброваними знімками.

Таблиця

Базис	Точність координат за відзнятими знімками (мм)			Точність координат за відкаліброваними знімками (мм)		
	<i>MX</i>	<i>MU</i>	<i>M</i>	<i>MX</i>	<i>MU</i>	<i>M</i>
<i>B</i> ₁	14	31	12	4	5	4
<i>B</i> ₂	25	69	24	6	11	6
<i>B</i> ₃	17	38	23	5	6	5

Аналіз результатів вказує на ефективність калібрування знімків та можливості здобуття досить точних просторових координат точок об'єкта із звичайних знімків. У результаті описаної методики складено зведений план розкопок, зменшений вигляд якого представлено на рис. 2.

Необхідно звернути увагу на створення просторового геодезичного обґрунтування, що є опорною сіткою для наступної обробки знімків.

На порівняно невеликих площах розкопок (0,04 – 0,2 га) контрольні точки можна розміщувати на струнах, натягнутих над об'єктом. Струни підвішуються тільки в момент зйомки та кріпляться на підпорних стовпах, установлених навколо розкопок. Для наступного етапу розкопок струни знімаються, звільнюючи поле діяльності. Після зняття чергового масиву об'єкта зйомку можна повторити, заздалегідь поновивши струни. На кожний цикл встановлюється свій план

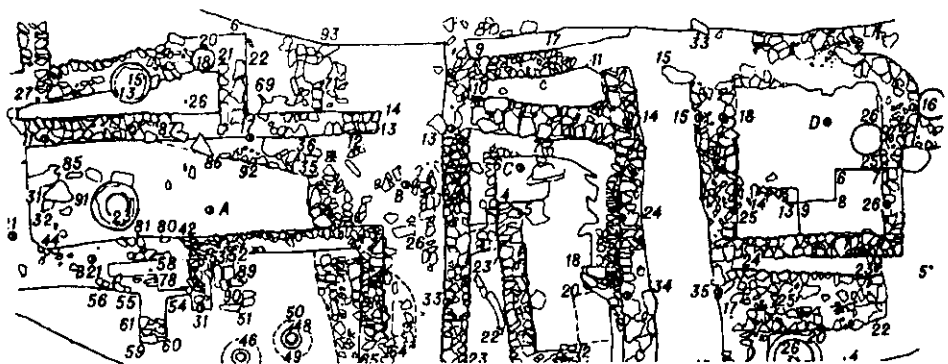


Рис. 2. План Партеїт-86.

у вигляді: фотоплану, графічної документації, стереомоделі об'єкта. В результаті циклічного дослідження підвищується коефіцієнт пізнання об'єкта, найточніше виділяться особливо цікаві зони, на які необхідно звернути більше уваги при наступному циклі. Апробована нами методика дає можливість обробляти як спеціальні, так і звичайні фотознімки, які часто несуть істинну інформацію, що збільшує масиви вихідних даних.

Оплата обмірів, виконаних комплексом дистанційних та геодезичних методів (далі тільки фототраметричних), здійснюється згідно збірника цін на пошукові роботи.

Архітектурно-археологічні обміри оцінюються за тимчасовим збірником СЦНІПР-85. Тут за одиницю виміру береться m^3 або «форматка». У фотограметричних обмірах вказується величина m^2 фасаду.

При переведенні однієї системи вимірів в іншу можна дістати порівняно однаковий результат, при якому фотограметричні методи здаються дещо дорожчими. Для вірної оцінки слід проводити повний аналіз робіт, з якого випливає, що з урахуванням тимчасового показника архітектурно-археологічні обміри у кілька разів поступаються фотограметричним, тобто собівартість фотограметричних робіт нижча. А із збільшенням обсягу робіт чи підвищенням категорії складності цей розрив збільшується не на користь архітектурно-археологічних обмірів. Звідси висновок напрошується сам собою: за рахунок зменшення часу виконання обмірів збільшується час на історико-архівні та бібліографічні пошуки, інженерне обстеження, роботи за ескізним проектом, проектом організації реставрації та інших основних робіт, що здійснюються дослідниками.

Впровадження у практику універсальних спеціалізованих камер, на базі любительської фотоапаратури та й простих фотоапаратів, з обробкою відзнятого матеріалу на спеціалізованих системах значно прискорить процес досліджень за рахунок оперативності обробки. А це, в кінцевому результаті, скоротить час проведення польових та камеральних робіт, що виділяються на вимірювальний процес, підвищить культуру праці й підніме ефективність дистанційних досліджень.

Розглядаючи дуже обмежене використання фотограметрії в археології через недостачу фотознімальних та фотограметричних приладів, фотоматеріалів і спеціалістів, можна сказати, що при хорошій організації робіт реалізація існуючих можливостей може принести велику користь.

Так, для аеро-наземних фотозйомок можуть бути використані топографічні аерофотоапарати АФА-41, АФА-ТЕ, МВ (НДР), спеціальні — АФА-89, РА-39, АФА-КО, універсальний знімальний прилад аерофототеодоліта АФТ, розроблений у Ворібі, фототеодоліт — «*Photoeo*» 19/1318 (НДР), фотограметрична камера УМК(10)1318, АФТ, фотограметрична камера КФ, розроблена в КДУ, фототеодоліт «Геодезія», наділений фіксуючим пристроєм «Ворібі») стереофотограметричні камери ІМК 10/1318, SMK 5,5/0808 (НДР), стереопроєктор СФП 5,2/0606 та автомобільна стереофотограметрична камера АСФК 10/0708, розроблені в Ворібі.

Враховуючи, що аерофотозйомки та космічні фотозйомки проводять спеціалізовані організації, то очевидна необхідність використання наземних знімальних засобів, які повинні бути мобільними, компактними, простими і надійними в роботі.

Найбільш перспективними в археології можуть бути фототеодоліт «Геодезія» з фокусуєчим пристроєм ($f = 195, 50, 263, 62$ мм, $D = 0,7$ м — формат 13×18 см фотопластинки), аерофототеодоліт АФТ ($f = 210$ мм, $D = \infty$, формат 18×23 см, фотоплівка шириною 19 мм), стереофотопроєктор СІФ ($f = 52 - 72$ мм, $B = 0,15 - 0,36$ м, $D = 0,2$ м — ∞ , формат $5,5 \times 5,5$ см, фотоплівка шириною $6,3$ см), автомобільна стереофотограметрична камера АСФК ($f = 100$ мм, $B = 0,5 - 3$ м, $D = 10$ м — ∞ , формат 7×8 см, фотоплівка автоматична). В археології може бути використана і стереофотограметрична камера з параметрами: $F = 100 - 125$ мм, $B = 0,25 - 1$ м, кути нахилів та поворотів камер — необмежені, $D = 0,5$ м — формат кадру 7×10 см, матеріал — фотоплівка шириною 8 см, встановлення на штативі з механічним притискуванням фотоплівки на скло. Камера розроблена та виготовлена у Ворібі.

Для обробки знімків в археології знайдуть використання передусім фототрансформатори, що забезпечують проведення фотозображення до заданої проєкції (ФТБ, «Ректимат»).

Для складання планів, профілів, визначення координат підходять універсальні стереоприлади (стереопроєктори, стереопланіграфи, технокарт). Для високоточних вимірів стереокомпаратори, в тому числі звичайні та автоматизовані (скло 1818, СКА-18 та ін.).

При проведенні великомасштабних аерофотозйомок показав себе літак Ан-2, вертоліт Ка-26, для яких Ворібі розроблені аерофотостановки для АФА-41, РА-39, сконструйований та виготовлений фотолюк (у літаку Ан-2). Безумовно, знайдуть використання і легкі літальні апарати: мотодельтаплан, радіокеровані моделі літаків, вертольотів, повітряні кулі, дирижаблі, розробка та випуск яких вже здійснюються. Для наземних фотозйомок переобладнаний спеціальний автомобіль з базисною установкою.

Наприкінці слід відзначити, що успіх використання фотограметрії в археології залежить від ініціативи зацікавлених організацій. Як потенціальних учасників наукової розробки проблеми можна назвати кафедру геодезії та картографії КДУ, кафедру інженерної геодезії та фотограметрії Ворібі, НДІПГ, держцентр «Природа» та інші вузи та НДІ, очолити ж усі ці роботи повинен Інститут археології АН України.

Примітки

¹ Розробка аналогічних методів здійснюється в Київському державному університеті ім. Т. Г. Шевченка на кафедрі геодезії та картографії географічного факультету (Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений.— М., 1984).

² Сердюков В. Н., Патыченко Г. А., Катушков В. А. Опыт составления архитектурных чертежей по архивным снимкам // Геодезия и картография.— 1985.— №9.— С. 38 – 41; Сердюков В. Н., Осадчий Е. И., Катушков В. А. Аналитическая обработка архивных снимков// Инженерная геодезия.— 1986.— Вып. 29.— С. 65 – 68; Осадчий Е. И., Катушков В. А. Использование метода фотограмметрии в архитектуре // Строительство и архитектура.— 1988.— №8.— С. 18, 19.

³ Сердюков В. Н., Катушков В. А., Садовец Б. А. Опыт применения неметрических фотокамер при съемке с близких отстояний // Геодезия и картография.— 1988.— №9.

⁴ Стереокамера СКІ-8 (конструкція І. Г. Індиченко, МДУ) складається з двох камер з перемінним базисом. Зйомка провадиться на фотоплівку. Розмір кадру 6 x 6 см з координатними помітками, що визначають положення головної точки затвору камер, синхронізовані. Фокусна відстань камер — 105 мм.

⁵ Стереокамера інженерної фотограмметрії СКІФ-1 (конструкція В. М. Сердюкова, В. О. Катушкова, КДУ) призначена для великомасштабної розташованої поруч зйомки. Складається з двох удосконалених камер «Київ-6 С» на постійному базисі — 0,5 мм. Наділена орієнтовним пристроєм. Володіє можливістю використання ряду змінних об'єктів з фокусними відстанями від 30 до 600 мм, що дозволяє, знімаючи з одного місця, змінювати масштаб знімка в 20 разів. Затвори камер працюють окремо чи синхронно. При фокусуванні на нескінченність вузлові точки об'єктивів розташовані на осі оберту базиса.

⁶ Стереофотопроектор СФП 5,2/06 (конструкції О. І. Метелкіна, ВДІ) складається з двох камер. Призначений для стереозйомки та встановлення фізичної стереомоделі об'єкта безпосередньо на екрані, де демонструється відзнятий об'єкт. Базис перемінний — 0,15 – 0,36 м. Фокусна відстань об'єктива $f = 52$ мм.

Одержано 05.05.89