Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Броварець Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, вул.. Ломоносова, 18; e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Броварець Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры информационно-технических и естественных дисциплин Киевский кооперативный институт бизнеса и права, г. Киев, ул.. Ломоносова, 18, e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Brovarets Olexsandr – PhD, Associate Professor, Zaviduvach, Chair of Informational and Technical Studies of Natural Sciences, Kyiv Cooperative Institute of Business and Law, Kiev, Lomonosova 18;E-mail: brovartsnau@ukr.net.

УДК 531.712

К. О. ПОДОСТРОЄЦЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА ВИМІРЮВАННЯ ЕТАЛОННИХ БАЗИСНИХ ВІДСТАНЕЙ ГЕОДЕЗИЧНОГО ПОЛІГОНУ

Розглядається дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Проведені дослідження метеорологічних умов на Одеському геодезичного полігоні протягом 25 робочих днів у робочий час. Здійснена перевірка значимості дестабілізуючих факторів для загальної похибки вимірювання під час метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів на еталонному лінійному базисі 2-го розряду Одеського геодезичного полігону. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки величини випадкової складової похибки під час метрологічного контролю віддалемірних приладів на геодезичному полігоні.

Ключові слова: тахеометри, світловіддалеміри, метрологічний контроль, еталонний лінійний базис геодезичного полігону, дестабілізуючі фактори.

Исследуется влияние дестабилизирующих факторов внешней среды на процесс измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона. Проведены исследования метеорологических условий на Одесском геодезическом полигоне в течении 25 рабочих дней в рабочее время. Осуществлена проверка значимости дестабилизирующих факторов для погрешности измерения при метрологическом контроле дальномерной части тахеометров на эталонном линейном базисе 2-го разряда Одесского геодезического полигона. Результаты исследований могут быть использованы для оценки величины случайной составляющей погрешности при метрологическом контроле дальномерных приборов на геодезическом полигоне.

Ключевые слова: тахеометры, светодальномеры, метрологический контроль, эталонный линейный базис геодезического полигона, дестабилизирующие факторы.

The study of the influence of destabilizing factors of the external environment on the process of measuring reference base lines of a geodesic polygon is considered. As an example, the Odessa reference base line of a geodesic polygon consisting of 7 fundamental geodesic stations situated on the plain and seismically safe site is presented. Analyzed of meteorological conditions at the Odessa geodesic polygon was conducted during 25 working days, during working hours. Validation of the significance of destabilizing factors for the general measurement error during the metrological control of the total station on the reference base lines of a geodesic Odessa polygon has been carried out. The results of the research can be used to estimate the magnitude of the random component of the error during the metrological control of EDM on the reference base lines of a geodesic polygon is considered.

Keywords: total station, EDM, metrological control, reference base lines of a geodesic polygon, destabilizing factors.

Вступ. Еталонний лінійний базис полігону геодезичного – це еталон, який служить для забезпечення єдності лінійних вимірювань в геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра від еталону робочим приладам: світловіддалемірам, електронним тахеометрам (віддалемірна частина) та іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання довжин. Тахеометр – геодезичний прилад призначений для вимірювання відстаней, перевищень, горизонтальних і вертикальних кутів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В Україні базисні лінійні геодезичні полігони функціонували в Криму, Києві, Харкові, Вінниці, Миколаєві і в Львівській області [1]. В 2008 році було прийнято рішення про створення полігону в Одесі [2, 3], а в 2015 році лінійний базис геодезичного полігона КПЛ – 7 2-го розряду був побудований на території Коломийського аеропорту в Івано-Франківській області. У масштабі України це є недостатньо. Необхідність метрологічного контролю світловіддалемірних приладів пов'язана зі зміною з часом постійної поправки. Якість метрологічного контролю істотно залежить і від кількості еталонних базисів в країні. Враховуючи сучасні масштаби геодезичних робіт, в Україні доцільно мати не менше за 1 – 2 базисів 2-го розряду на область [4].

Найбільш поширене застосування на геодезичному ринку отримали завдяки своїй багатофункціональності тахеометри. Найчастіше в геодезичних роботах використовують тахеометри з допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів до 6″ і допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання відстані одним прийомом 2+2 ppm. Вираз ppm означає на латинському вираз «Pars per milion», що перекладається як «одна частина мільйону». Отже, допустима середня квадратична похибка вимірювання відстані такими тахеометрами складає $2+2\cdot10\text{-}6$ D, де D – відстань у мм.

Суть метрологічного контролю віддалемірних приладів, зокрема віддалемірної частини тахеометрів,

© К. О. Подостроєць. 2017

полягає в вимірюванні еталонних лінійних базисних відстаней полігону геодезичного. Методика забороняє проводити вимірювання при поганих погодних умовах: сніг, дощ, сильний вітер, туман, яскраве сонце, смог. За сприятливої погоди попередньо виміряні значення температури та тиску необхідно ввести з клавіатури тахеометру, а прилад буде проводити вимірювання з урахуванням поправок, що розраховуються автоматично на основі введених даних. Деякі сучасні тахеометри мають вбудовані датчики температури та тиску, що спрощує процес введення поправок.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є перевірка значимості впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища для загальної похибки вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону в реальних умовах.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідження метеорологічних умов протягом 25 робочих днів у робочий час на Одеському геодезичному полігоні.

2. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювальний процес за граничних значень зміни метеопараметрів.

Вплив дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Тахеометру потрібен час витримки для перевірки його роботи при певних умовах навколишнього середовища. Тому різні методики повірки, які пропонуються виробниками тахеометрів, установлюють час витримки тахеометра на робочому місці від 1 до 2 годин перед безпосереднім її проведенням. З урахуванням часу, який потрібен на проведення вимірювань довжин базису полігона тривалість повірки віддалемірної частини тахеометра може складати до 3 годин.

Тахеометр використовує для вимірювання відстаней лазерний промінь, але швидкість його розповсюдження залежить від показника заломлення світла в атмосфері. Він, в свою чергу, залежить від зміни температури, тиску та вологості навколишнього середовища, в якому проводяться вимірювання.

Для досягнення максимальної точності вимірювань відстані виробники тахеометрів пропонують використовувати середні значення атмосферних параметрів навколо лінії – шляху розповсюдження лазерного випромінювання. Також, існують деякі застереження у використанні тахеометрів, а саме: уникнення роботи тахеометром при інтенсивному випромінюванні, що здійснюється сонячним світлом (наприклад опівдні влітку), уникнення поривів вітру, опадів. Всі ці фактори можуть вносити додаткові грубі похибки в результат вимірювання.

Якщо в тахеометр не вводилися метеодані і значення поправок тахеометра, тоді виміряна відстань буде відноситися до стандартних метеоумов, прийнятим при виробництві тахеометра і не відповідатиме істинному значенню. На першій стадії обробки у виміряні значення вводяться поправки за систематичні похибки тахеометра та поправки на вплив зовнішніх умов, поправки за приведення ліній до центрів пунктів і таким чином отримують нахилені відстані. Після введення поправки за нахил лінії отримують горизонтальну відстань, яку в разі необхідності може бути зредуковано на площину в проекції Гаусса-Крюгера, або на поверхню відносності (референц-еліпсоїд). Зазвичай, лінійні базиси полігонів представляють собою пряму довжиною до 1,5 км на рівнині, що робить вплив похибки на кривизну Землі такою, якою можна знехтувати.

Існують стандартні алгоритми врахування впливу атмосферних умов на результати віддалемірних вимірювань. Оскільки блок тахеометру, що відповідає за вимірювання відстаней, по суті представляє собою класичний світловіддалемір, тому розглянемо алгоритм врахування впливу атмосферних умов при вимірюванні світловіддалеміром.

Для світловіддалемірів коефіцієнт заломлення n визначається за формулою (1):

$$n = n_0 + \Delta n, \tag{1}$$

де Δn – поправка до стандартного показника заломлення за відмінність виміряних значень T_0, P_0, e_0 від стандартних,

n_0 – показник заломлення в стандартних умовах (T_0, P_0, e_0), що визначається за формулою Коші.

В різних моделях тахеометрів використовуються різні значення довжини хвилі світла, а різні виробники, інколи закладають в тахеометр різні «стандартні» значення метеоумов. Так, для визначення температурної поправки, не використовуючи програму тахеометра фірми Trimble, моделі 3300DR, і вводу нульової поправки, необхідно виставити температуру 20°С та тиск 944 гПа. Хоча, переважна більшість виробників для нульової поправки використовують температуру 15 °С та тиск 760 мм. рт. ст.

Поправка на метеоумови δ_v розраховується за формулою (2)

$$\delta_v = Д_0(N_0 - N)10^{-6}, \tag{2}$$

де індекс заломлення для стандартних умов N_0 визначається за формулою Барреллата Сірса (3), а N – за формулою Барреллата Сірса (4).

$$N_0 = (n_0 - 1)10^6 = A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4}, \tag{3}$$

$$N = N_0 \frac{T_0 P}{P_0 T} - (17{,}045 - \frac{0{,}5572}{\lambda^2})\frac{e}{T}, \tag{4}$$

де λ – довжина хвилі світла в мкм.

Що в кінцевому варіанті виглядає, як:

$$\delta_v = D_0\left[\left(A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4}\right)\cdot\left(1 - \frac{T_0 P}{P_0 T}\right) + \left(\frac{17{,}045 - 0{,}5572}{\lambda^2}\right)\cdot\frac{e}{T}\right]\cdot 10^{-6}, \tag{5}$$

P, T и e повинні бути середньоінтегральними, але практично обмежуються середніми значеннями

метеозмін на двох кінцях лінії. Формула (5) часто табулюється, іноді складаються номограми для визначення поправок графічним шляхом [5, 6, 7, 8].

Шляхом розрахунків було виявлено, що похибка вимірювання температури повітря і атмосферного тиску впливає на результат вимірювання відстаней, що становить 1 ppm, або $1{,}0\cdot10^{-6}\cdot D$ мм, при зміні:

– температури навколишнього повітря на 1°;

– тиску на 2,5 мм. рт. ст.

Вплив вологості дуже малий, особливо на коротких відстанях. Його необхідно враховувати в дуже вологих і теплих умовах при вимірюванні великих відстаней.

Фірма – виробник тахеометрів Sokkia пропонує наступну формулу розрахунку поправки за вологість, якщо значення вологості вводиться в тахеометр поряд зі значеннями температури і тиску.

$$282{,}324-\frac{0{,}294362\cdot p}{1+0{,}003661\cdot t}+\frac{0{,}04127\cdot e}{1+0{,}003661\cdot t'} \qquad (6)$$

де $e=h\cdot\frac{E}{100}$, а $E=6{,}11\cdot10^{\frac{(7{,}5\cdot t)}{(t+237{,}3)}}$, t – температура повітря, p – тиск, e – тиск водяного пару, h – відносна вологість, E – тиск насичених водяних парів.

Для оцінки впливу метеоумов на проведення повірки віддалемірної частини тахеометру на Одеському геодезичному полігоні були проведені дослідження метеорологічних умов протягом 25 робочих днів у робочий час. Дослідження проводились з 16.03.2015 р. по 17.04.2015 р. засобами вимірювальної техніки, що занесені до державного реєстру засобів вимірювальної техніки та успішно пройшли періодичну повірку.

Критеріями оцінки були наступні параметри:

– час контролю метео-параметрів (3 рази у робочий час),

– температура повітря на висоті 2 м над поверхньою Землі, °С,

– атмосферний тиск, приведений до середнього рівня моря, мм. рт. ст.,

– відносна вологість на висоті 2 м над по верхньою Землі, %,

– швидкість вітру, усереднена за 10-хв період, що безпосередньо передував терміну спостереження, м/с,

– хмарність, %,

– наявність опадів,

– кількість опадів та стан грунту.

Дослідження показали, що з 25 робочих днів:

– 7 днів за своїми метеоумовами повністю підходять для проведення вимірювань,

– 4 дні підходять для проведення вимірювань тільки в одній з фаз робочого дня,

– 5 днів – на протязі однієї фази яких, не бажано проводити вимірювання, а інша не підходить для проведення вимірювань взагалі,

– 9 днів – повністю не підходять для проведення вимірювань.

Отже протягом 14 повних робочих днів та 4 неповних неможливо проводити вимірювання на полігоні, що в свою чергу складає 64 % з 100 % робочого часу.

Розглянемо зміни температури, тиску та вологості упродовж робочих днів, що за своїми метеоумовами підходять для проведення повірки віддалемірної частини тахеометра та представимо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Максимальні зміни метеоумов упродовж періоду спостережень

Дата проведення спостережень	Максимальна зміна температури протягом 3 годин, °С	Максимальна зміна тиску протягом 3 годин, мм.рт.ст	Максимальна зміна вологості протягом 3 годин, %	Максимальна швидкість вітру, усереднена за 10-хв період, що безпосередньо передував терміну спостереження, м/с
16.03.2015	3,4	0,6	9	5
17.03.2015	3,3	1,6	21	9
24.03.2015 з 11:00 по 17:00	0,1	0,8	8	5
25.03.2015 з 11:00 по 17:00	0,1	0,3	6	6
26.03.2015	0,7	0,6	4	4
06.04.2015 з 12:00 по 18:00	0,1	1	9	5
09.04.2015	3,4	0,8	26	10
10.04.2015	5,3	1,5	9	3
13.04.2015	5,5	1,4	20	4
15.04.2015	3,3	1,9	15	6
17.04.2015	1,4	0,6	10	2

Необхідно відмітити, що найбільша різниця в зміні температури навколишнього середовища припадає на першу половину дня. Що влітку суттєво ускладнює проведення повірки в ранкові години. Але, з іншого боку, проведення повірки влітку на протязі дня неможливе внаслідок впливу сонячного випромінювання та дії явища рефракції. Поправка на метеоумови в тахеометр вноситься перед безпосереднім виконанням вимірювань. Як вже зазначалось, вимірювання базисних відстаней геодезичного полігону одним тахеометром проводяться приблизно протягом 1 години. З отриманих даних виберемо

найбільші та найменші значення зміни метеопараметрів на протязі години вимірювань при повірці віддалемірної частини тахеометра та представимо у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Максимальні зміни метеоумов під час вимірювань

Метеорологічний параметр	Найбільше значення зміни за 1 годину	Найменше значення зміни за 1 годину
Температура, °С	1,83	0,03
Тиск, мм.рт.ст.	0,63	0,10
Вологість, %	8,67	1,33

Визначимо вплив найменших і найбільших змін tзмін метео-параметрів на результат вимірювання. Як вказано вище, зміна температури навколишнього повітря на 1°С призводить до похибки вимірювання відстаней в 1 ppm. Розрахуємо найбільші на найменші вклади випадкової складової похибки за зміни температури Δtзмін при вимірюванні лінії довжиною в 1 км.

$$\Delta_{t_{змін}} = \frac{t_{змін} 1ppm}{1°C}, \quad (7)$$

Аналогічно для тиску:

$$\Delta_{p_{змін}} = \frac{p_{змін} 1ppm}{2,5мм.рт.ст.}, \quad (8)$$

Внаслідок відсутності за час досліджень поєднання двох метеоумов: спеки і високої вологості, а також порівняно невеликі значення зміни вологості під час вимірювання, на підставі рекомендацій виробників тахеометрів впливом похибки $\Delta_{h\text{змін}}$, що виникає при неврахуванні поправки на відносну вологість повітря можна знехтувати як мізерно малою. В таблиці 3 представлені найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки відповідно змінам метеопараметрів.

Таблиця 3 – Найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки відповідно змінам метеопараметрів

Метеорологічний параметр	Найбільший вплив на 1 км, мм	Найменший вплив на 1 км, мм
Температура	1,83	0,03
Тиск	0,25	0,04

Висновки

1. З 25 робочих днів спостережень протягом 14 повних робочих днів та 4 неповних неможливо проводити вимірювання на геодезичному полігоні, що в свою чергу складає 64 % з 100 % робочого часу.

2. Розраховані найбільші на найменші вклади випадкової складової похибки за реальних змін температури та тиску при вимірюванні еталонних базисних відстаней Одеського геодезичного полігону тахеометром.

Список літератури:

1. Альтернативний шлях розвитку метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів [Текст]: VII Міжнар. наук.-практ. конф. / заг. ред. *В. В. Балабіна* // Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє. – Київ: ВІКНУ, 2011. – 477 с.
2. *Новикова, А. И.* О метрологическом обеспечении землеустроительных работ [Текст] / *А. И. Новикова* // Всеукраинская газета «СтандртЪ». – 2008. – № 10-11. – С. 58–59.
3. *Коломиец, Л. В.* Метрологический контроль тахеометров [Текст] / *Л. В. Коломиец, К. А. Подостроец* // Компетентность. – 2014. – № 3/114. – С. 36.
4. *Тревого, І. С.* Контроль стабільності інтервалів взірцевого геодезичного базісу [Текст] / *І. С. Тревого, О. М. Денисов, О. М. Самойленко* // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С. 60–62.
5. *Кошелев, А. В.* Об аттестации современных светодальномеров на эталонных линейных базисах [Текст] / *А. В. Кошелев и др.* // ГЕО-Сибирь. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т. 5, № 2. – С. 108–112.
6. *Кошелев, А. В.* Определение показателя преломления в атмосфере по результатам светодальномерных измерений эталонного базиса [Текст] / *А. В. Кошелев и др.* // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 71–75.
7. *Большаков, В. Д.* Радиогеодезические и электрооптические измерения [Текст] / *В. Д. Большаков, Ф. Деймлих, А. Н. Голубев, В. П. Васильев.* – М.: Недра, 1985. – 303 с.
8. *Камен, Х.* Электронные способы измерений в геодезии [Текст] / *Х. Камен.* – М.: Недра, 1982. – 252 с.
9. The long- term stability of the Nummela Standard Baseline [Text]. – Int. Union Geod. and Geophys 21st Gen. Assembly, Boulder, Colorado, 1995.
10. Учет влияния показателя преломления атмосферы на результаты светодальномерных измерений [Текст]: IX Междун. конф. – Прикладная оптика-2010. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 265–269.

Bibliography (transliterated):

1. Balabin, V. V. (Ed.) (2011) Alternatyvnyi shliakh rozvytku metrolohichnoho zabezpechennia zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky dlia vyznachennia velykykh liniinykh rozmiriv. Viiskova osvita i nauka: sohodennia ta maibutnie. Kyiv: VIKNU, 477.
2. Novikova, A. I. (2008). O metrologicheskom obespechenii zemleustroitel'nyh rabot. Vseukrainskaya gazeta «Standrt"», 10-11, 58–59.
3. Kolomiec, L. V., Podostroec, K. A. (2014). Metrologicheskiy kontrol' taheometrov. Kompetentnost', 3/114, 36.
4. Trevoho, I. S., Denysov, O. M., Samoilenko, O. M. (2007). Kontrol stabilnosti intervaliv vzirtsevoho heodezychnoho bazisu. Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia, 69, 60–62.
5. Koshelev, A. V. et. al. (2011). Ob attestacii sovremennyh svetodal'nomerov na ehtalonnyh lineynyh bazisah. GEO-Sibir'. Novosibirsk: SGGA, 5 (2), 108–112.
6. Koshelev, A. V. et. al. (2014). Opredelenie pokazatelya prelomleniya v atmosfere po rezul'tatam svetodal'nomernyh izmereniy ehtalonnogo bazisa. Interehkspo GEO-Sibir'. Novosibirsk: SGGA, 2, 71–75.
7. Bol'shakov, V. D., Deymlih, F., Golubev, A. N., Vasil'ev, V. P. (1985). Radiogeodezicheskie i ehlektroopticheskie izmereniya. Moscow: Nedra, 303.
8. Kamen, H. (1982). Ehlektronnye sposoby izmereniy v geodezii. Moscow: Nedra, 252.
9. The long- term stability of the Nummela Standard Baseline (1995). Int. Union Geod. and Geophys 21st Gen. Assembly, Boulder, Colorado.
10. Uchet vliyaniya pokazatelya prelomleniya atmosfery na rezul'taty svetodal'nomernyh izmereniy (2010). Prikladnaya optika-2010. Sankt-Peterburg, 265–269.

Надійшла (received) 26.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону/ Подостроєць К. О. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование влияния дестабилизирующих факторов на измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона/ Подостроец К. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Investigation of the influence of destabilizing factors on measurements of standard reference base lines of a geodesic polygon/ Podostroets K. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241).– P.103–107. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Подостроєць Кирил Олександрович – с.н.с., кафедра стандартизації, оцінки відповідності та якості, Одеська державна академія технічного регулювання та якості; вул. Кузнечна, 13, м. Одеса, Україна, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

Подостроец Кирилл Александрович – с.н.с., кафедра стандартизации, оценки соответствия и качества, Одесская государственная академия технического регулирования и качества; ул. Кузнечная, 13, г. Одесса, Украина, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

Podostroets Kyryll Aleksandrovych – senior researcher, Department of standardization, conformity assessment and quality, Odessa State Academy for Technical Regulation and Quality; Kuznechnaya st., 13, Odessa, Ukraine, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

УДК 681.5.015

Н. В. ФЕДОРОВ, А. М. ХРЕНОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕТИ

Рассматривается задача определения граничных условий функционирования локальных подсистем инженерной сети, позволяющих получить оптимальный режим работы всей сети в соответствии с выбранным критерием. В качестве локальной подсистемы рассматривается фрагмент сети, содержащий один или несколько активных элементов и прилегающий к ним участок, состоящий из пассивных элементов. Каждая локальная подсистема имеет один вход и один выход. Задача рассматривается для двух режимов: нормального и в условиях дефицита целевого продукта. Предложенные алгоритмы решения задачи основаны на использовании метода динамического программирования.

Ключевые слова: инженерная сеть, локальная подсистема, линейный ориентированный граф, оптимизация, динамическое программирование

Розглядається задача визначення граничних умов функціонування локальних підсистем інженерної мережі, що дозволяють отримати оптимальний режим роботи всієї мережі відповідно до обраного критерію. Як локальна підсистема розглядається фрагмент мережі, що містить один або кілька активних елементів і прилеглий до них ділянку, що складається з пасивних елементів. Кожна локальна підсистема має один вхід і один вихід. Завдання розглядається для двох режимів: нормального і в умовах дефіциту цільового продукту. Запропоновані алгоритми розв'язання задачі засновані на використанні методу динамічного програмування.

Ключові слова: інженерна мережа, локальна підсистема, лінійний орієнтований граф, оптимізація, динамічне програмування

The problem of determining the boundary conditions for the functionalization of local subsystems of the engineering network, which allow to obtain an optimal operating mode of the entire network in accordance with the chosen criterion, is considered. As a local subsystem, a network fragment containing one or more active elements and an adjacent section consisting of passive elements is considered. Each local subsystem has one input and one output. The problem is considered for two regimes: normal and in conditions of deficiency of the target product. The proposed algorithms for solving the problem are based on the use of the dynamic programming method.

Keywords: engineering network, local subsystem, linear oriented graph, optimization, dynamic programming.

Введение. К инженерным сетям относят трубопроводные транспортные и распределительные системы, обеспечивающие потребителей некоторым (жидким или газообразным) продуктом в виде потоков [1,2]. Примерами таких сетей являются водопроводные и газовые (городские и магистральные) сети, вентиляционные системы шахт, рудников, высотных зданий.

Инженерная сеть может быть рассмотрена как сложная система взаимодействия большого количества подсистем (элементов) трех типов: активных элементов, линий связи и потребителей. Взаимосвязь таких подсистем, определенная каким-либо формальным способом, называется структурой инженерной сети. Если все подсистемы сети могут быть представлены двухполюсными элементами, то структура сети может быть представлена в виде линейного ориентированного графа.

© Н. В. Федоров, а. М. Хренов. 2017