

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЕРЕХРЕСНО-РЕБРИСТОЇ БАЛКОВОЇ ПРОЛІТНОЇ БУДОВИ ДО ТА ПІСЛЯ РОЗШИРЕННЯ І ПІДСИЛЕННЯ НАКЛАДНОЮ ПЛИТОЮ

© Рачкевич В. С., 2016

Описані конструкція, методика і результати статичних випробувань залізобетонної перехресно-ребристої прольотної будови за ТП вип. 56 до та після реконструкції. Експериментальним зразком для дослідження слугувала залізобетонна балкова перехресно-ребриста пролітна будова з розрахунковим прольотом 21,6 м і габаритом Г-6+2×0,85 м, збудована в 1969 р. за ТП вип. 56. Реконструкція її передбачала розширення габариту до Г-8+2×1,5 м монолітною залізобетонною накладною плитою та підсилення балок найменш затратним способом – включенням плити у спільну роботу з ними з одночасною зміною їх статичної схеми з розрізної на нерозрізну.

Метою статичних випробувань було виявлення дійсного напружено-деформованого стану елементів прольотної будови, закономірностей деформування балок, характеру її просторової роботи і розподілу тимчасового навантаження між балками до та після реконструкції.

За результатами випробування одержані експериментальні коефіцієнти поперечного розподілу тимчасових навантажень (КПР) та встановлена їх збіжність з розрахованими.

Ключові слова: залізобетонна перехресно-ребриста прольотна будова, реконструкція, статичні випробування, розподіл тимчасових навантажень між балками.

The design, methodology and results of the static tests of cross-ribbed reinforced concrete span structure by TP no. 56 before and after the reconstruction are described. Experimental study served as a model for reinforced concrete beam cross-ribbed span structure calculation span of 21.6 m and a clearance Г-6+2×0,85 m, built in 1969 by TP no. 56. The reconstruction included the expansion of its dimensions to the Г-8+2×1,5 m monolithic concrete slab and reinforcement beams least costly way – turning plate in collaboration with them, with simultaneous change of the static circuit with on a continuous split.

The aim of the static tests was to identify the actual stress-strained state of span structure, deformation of beams, the nature of its spatial and temporal distribution of the load between the beams before and after reconstruction.

According to the results obtained experimental test ratios temporary cross-distribution of loads and installed their convergence with the calculated.

Key words: cross-ribbed reinforced concrete span structure, reconstruction, static testing, provisional distribution of loads between the beams.

Вступ. Мета роботи

Існує декілька типів залізобетонних балкових перехресно- і плитно-ребристих пролітних будов автодорожніх мостів, збудованих у 60–70-х роках минулого століття, які на даний час не

задовольняють нормованих споживчих властивостей та експлуатаційних вимог сучасного транспорту за вантажопідйомністю, пропускною здатністю, безпекою і комфортністю руху. Передовсім це мости малих і середніх прольотів масового будівництва за розробленим ПП “Союздорпроект” типовим проектом діафрагмових пролітних будов ТП вип. 56 (випуск 1958 р.) [1, 2, 7, 10]. Прольотні будови цих мостів складені з ненапружених балок тонкостінного таврового перерізу, армованих зварними каркасами з багаторядовим розташуванням поздовжньої робочої арматури без зазорів по висоті і об’єднаних між собою поперек прольоту в просторову систему перехресно-ребристої пролітної будови поперечними діафрагмами [10]. На цей час майже всі мости з пролітними будовами цього типу, збудовані до впровадження норм проектування мостів СНіП 2.05.03-84, мають недостатній габарит мостового полотна, розраховані на нормовані тимчасові навантаження Н-18 і НК-80, Н-13 і НГ-60 за скасованими нормами проектування Н106-53 і не задовольняють експлуатаційних вимог за чинними нормами проектування нових мостів, а тому потребують реконструкції з обов’язковим розширенням габариту і підсиленням наявних балок та забезпеченням гарантованої довговічності, не меншої ніж для новозбудованих мостів.

Досвід реконструкції залізобетонних балкових мостів з пролітними будовами різних конструктивних схем переконливо свідчить, що одним з найефективніших способів їх розширення і підсилення балок є застосування залізобетонної накладної плити з одночасною зміною під час реконструкції статичної схеми балок з розрізної в балково-нерозрізну або, за необхідності, в рамно-нерозрізну з повним защемленням балок на опорах [1, 3–9, 11]. Однак включення накладної плити в спільну роботу з наявними балками та зміна їх статичної схеми можуть кардинально вплинути на характер просторової роботи реконструйованої пролітної будови і розподіл тимчасових навантажень між балками (КПР). Тому в цій роботі сформульовано експериментально дослідити під час натурних випробувань якісний і кількісний характер розподілу та величини КПР у перехресно-ребристій пролітній будові до і після реконструкції та порівняти визначені КПР з теоретичними.

Конструкція дослідної пролітної будови до та після реконструкції

Експериментальним зразком для досліджень слугувала пролітна будова крайнього прольоту моста через р. Прут в с. Заріччя Івано-Франківської обл. на км. 33+174 автодороги Яблунів–Делятин. Міст залізобетонний, балковий, розрізний за конструктивною схемою 6×22,2 м довжиною 134,0 м і габаритом Г-6+2×0,85 м (рис. 1, а, б), збудований у 1969 р. для нормованих на той час тимчасових навантажень Н-18 і НК-80 [2,5,6]. Поперечник пролітної будови складений з п’яти таврових балок довжиною 22,16 м (розрахунковий проліт 21,6 м) з кроком 1,4 м, об’єднаних у перехресно-ребристу систему монолітними поперечними діафрагмами через 2,7 м уздовж прольоту і монолітною залізобетонною плитою мостового полотна товщиною 100–120 мм.

Пролітна будова розширена до габариту Г-8+2×1,5 м (за нормативами дороги IV технічної категорії) плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою з консолями (рис. 1, в), об’єднаною для сумісної роботи з існуючими балками гнучкими петльовими анкерами (рис. 1, д). Підсилення балок виконане найменш затратним способом – включенням у спільну роботу з ними накладної плити і зміною їхньої статичної схеми з розрізної на нерозрізну. Нерозрізність над проміжними опорами створювали бетонуванням у проміжках між існуючими опорними діафрагмами армованих опорних ребер (рис. 1, з), об’єднаних над опорами з накладною плитою, додатково армованою на цій ділянці для сприйняття опорного згинального моменту. Стиснуту зону приопорної ділянки крайньої і суміжної з нею балок також підсилювали влаштуванням між ними нижньої плити стиску (рис. 1, з).

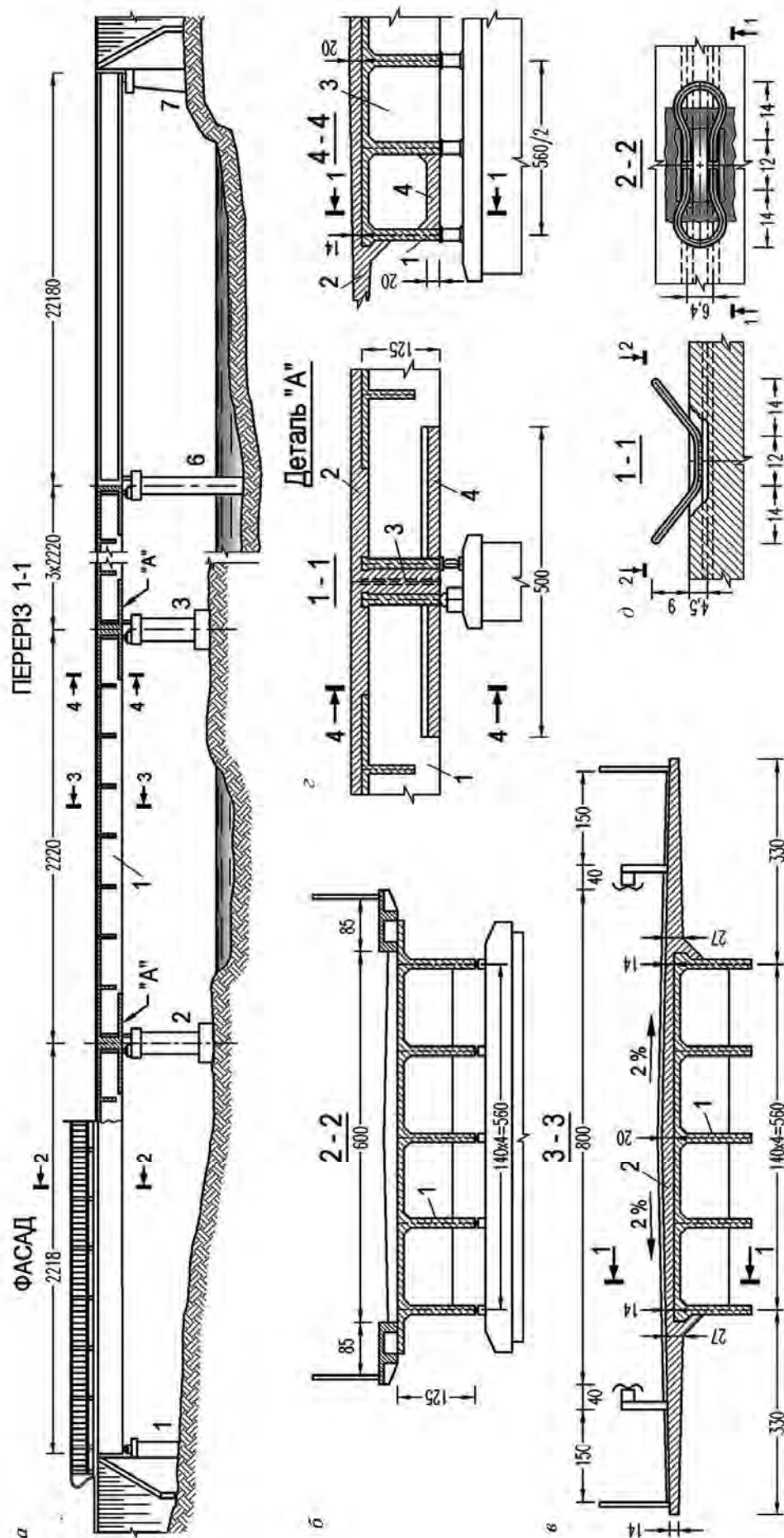


Рис. 1. Конструктивне вирішення існуючого і реконструйованого моста:

а – фасад і поздовжній переріз; б, в – поперечний переріз існуючої та розширеної пролітної будови;
 г – деталь влаштування нерозрізності над проміжними опорами; д – анкери для об'єднання накладної плити з наявними балками;
 1 – наявні балки; 2 – залізобетонна накладна плита; 3 – опорне ребро; 4 – нижня плита стиску

Детально конструкцію і технічний стан наявного моста та конструктивні рішення його реконструкції описано в [5, 6].

Програма і методика випробувань

Враховуючи новизну й особливості нетипових конструктивних рішень реконструкції моста, зокрема, розширення пролітної будови монолітною залізобетонною накладною плитою та зміну статичної схеми з розрізної на нерозрізну, статичні випробування пролітної будови за методологією були експериментальними дослідженнями, оскільки містили не лише її обкатку тимчасовим навантаженням, а глибше дослідження закономірностей деформування її елементів під навантаженням до та після включення в сумісну роботу з наявними балками монолітної залізобетонної накладної плити та створення нерозрізності. Детальне експериментальне дослідження особливостей роботи пролітної будови як до, так і після реконструкції зумовлено також і тим, що через відсутність аналогів, а відповідно, і досвіду експлуатації мостів з прийнятими новими конструктивними рішеннями міст зарахований до категорії об'єктів експериментальної реконструкції.

Випробовували пролітну будову крайнього прольоту, в балках якої за нерозрізної статичної схеми виникають найбільші зусилля. Випробування проводили двічі відповідно до етапів реконструкції – до розширення після видалення всіх елементів мостового полотна (за мінімальних постійних навантажень тільки від власної ваги балок) і на другому етапі після розширення і зміни статичної схеми з розрізної в нерозрізну перед здачею реконструйованого моста в експлуатацію. Метою їх було виявлення дійсного напружено-деформованого стану елементів пролітної будови, закономірностей деформування балок, характеру її просторової роботи і розподілу тимчасового навантаження між балками до реконструкції та після влаштування накладної плити і зміни статичної схеми.

Поетапні випробування дали можливість безпосереднім порівнянням прогинів балок за однакових схеми розташування на пролітній будові випробувального навантаження оцінити вплив включення в сумісну роботу з наявними балками накладної плити та зміни їх статичної схеми на міцність, деформативність і тріщиностійкість балок, тобто виявити ефект розширення і підсилення.

За характером розподілу прогинів між балками як інтегральної характеристики напружено-деформованого стану перерізів встановлювали закономірності просторової роботи пролітної будови до та після реконструкції, а також визначали фактичний розподіл між балками зусиль від тимчасових навантажень, тобто відповідність фактичних і прийнятих для розрахунку схем просторової роботи наявної і розширеної пролітної будови. Методичною особливістю випробувань було одержання графіків розвитку прогинів балок за ступеневого збільшення випробувального навантаження. Для цього встановлювали послідовно за прийнятими схемами по одному або два автомобілі з вимірюванням прогинів на кожній ступені навантаження, що дало можливість одержати графіки $M-f$. Прогини всіх балок у середині прольоту вимірювали механічними прогиномірами 6 ПАО з ціною поділки 0,01 мм.

Пролітну будову випробовували тимчасовим рухомим навантаженням з однієї або двох колон навантажених автомобілів-самоскидів КАМАЗ. Загальна вага автомобіля КАМАЗ 18,9–19,2 т, тобто наближеною до нормованої, тому тиск на передню і задню осі автомобілів приймали за паспортними даними: на передню вісь $P_1 = 44,7$ кН; на задню вісь $P_2 = 73,5$ кН.

Для вирішення поставлених програмою випробувань завдань за два етапи їх проведення (до та після реконструкції) здійснено 18 схем навантаження пролітної будови. Усі реалізовані схеми навантаження з прив'язками автомобілів до елементів пролітної будови подано на рис. 2–5.

Прийняті під час випробувань схеми навантаження охопили практично всі можливі випадки розташування тимчасових навантажень на пролітній будові під час її експлуатації, тобто дали можливість перевірити несучу здатність, жорсткість і тріщиностійкість максимально навантажених елементів у режимі найневигіднішого навантаження пролітної будови під час експлуатації.

Аналіз та оцінка результатів випробувань пролітної будови до та після реконструкції

Основним результатом випробувань є прогини балок у середині прольоту, які для можливості аналізу і порівняння подані у вигляді епюр їх розподілу між балками за кожної схеми випробувального навантаження (рис. 2–5). Необхідно звернути увагу на те, що навантаження пролітної будови за схемами Іл і Іп і ІІ рл і ІІ рп були ідентичними, але “дзеркально” зміщеними до лівої і правої крайніх балок або лівого і правого бар’єрів і створювали однакову максимальну навантаженість відповідно лівої і правої крайніх балок. За цих схем прогини вказаних балок були досить близькими між собою і дорівнювали відповідно 16,44 мм і 16,85 мм для схем навантаження Іл і Іп, аналогічно за таких самих “дзеркальних” схем ІІ рл і ІІ рп – відповідно 14,74 мм і 14,11 мм. Наведене порівняння прогинів лівої і правої крайніх балок за однакових згинальних моментів у них є додатковим свідченням достовірності величин виміряних прогинів.

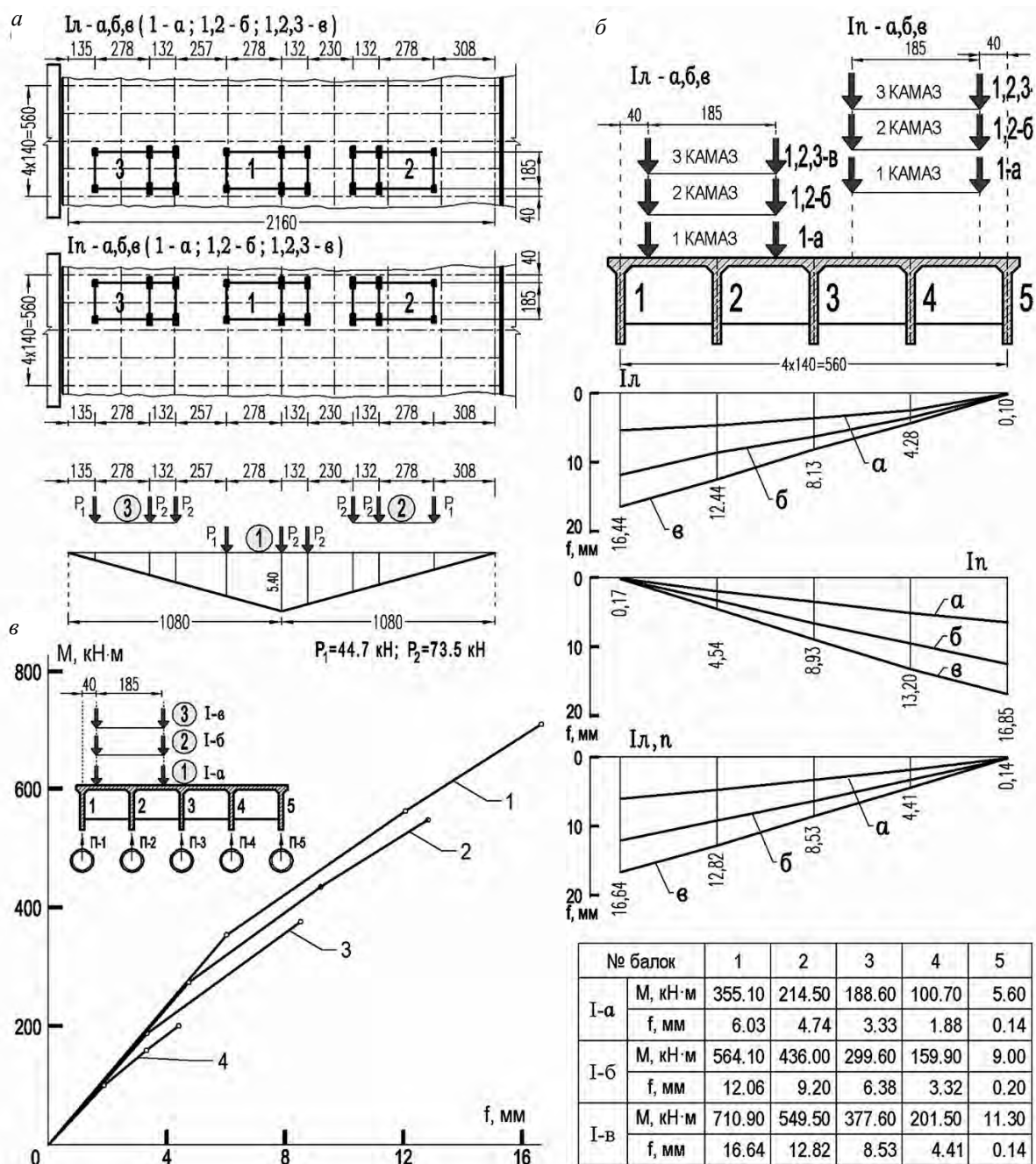
З наведених епюр видно, що закон зміни прогинів балок за всіх схем позacentрового (одностороннього) навантаження пролітної будови, як до (схеми І, ІІ), так і після її реконструкції, та включення в роботу накладної плити і зміни статичної (схеми Ір, Іпр) близький до лінійного. Це свідчить про те, що діафрагмова пролітна будова з монолітними діафрагмами і об’єднаною з ними і головними балками монолітною плитою проїзної частини, через які тимчасові навантаження розподіляються між балками поперек прольоту, має досить значну поперечну жорсткість і умовно можна зарахувати до типу пролітних будов з жорстким поперечним перерізом, початкова форма якого без істотних деформацій зберігається і після навантаження. Так дійсна робота пролітної будови на досягнутому рівні навантаженості, який у реальних умовах близький до експлуатаційного, відповідає лінійності розподілу зусиль між балками, тобто теоретичним передумовам методу позacentрового стиску, який і був прийнятий для перевіркових розрахунків пролітної будови на нормовані і випробувальні навантаження.

Закономірності зміни прогинів балок залежно від величини випробувального навантаження аналізували за експериментальними графіками f - M , які для балок наявної пролітної будови за схемами навантаження І і ІІ в режимі його ступеневого збільшення подані на рис. 2, в, 3, в. Згинальні моменти для їхньої побудови визначали за експериментальними КПП. Спільною особливістю одержаних графіків є нелінійна залежність між прогинами і згинальними моментами з додатною кривиною, яка явно виражена для більше навантажених балок (1, 2) і зменшується, наближаючись до лінійної, для менше навантажених (3, 4). Такі графіки прогинів є характерними під час випробувань залізобетонних згинаних елементів: внаслідок нелінійності деформування бетону й арматури та розвитку тріщин одержуємо графіки прогинів (f - M) з додатною кривиною, тобто переважаючим збільшенням приросту прогинів під час збільшення згинальних моментів.

На рис. 4, в і 5, в подано аналогічні графіки прогинів за випробуваннями реконструйованої пролітної будови за схемами навантаження Ір, Іпр, яке також прикладали ступенево. Графіки прогинів різних балок пролітної будови за досягнутого рівня навантаженості є лінійними і практично збігаються, тобто однаковим згинальним моментам у цих балках відповідають однакові прогини (знаходяться в межах розкиду експериментальних даних), що повністю відповідає основоположним засадам теорії жорсткості залізобетонних балок при згині. З практичного погляду одержала збіжність графіків прогинів різних балок є додатковим і переконливим свідченням достовірності визначення експериментальних КПП за одержаними з випробувань прогинами балок за різної кількості колон випробувального навантаження поперек прольоту.

Ефект впливу накладної плити і створеної під час реконструкції нерозрізності на роботу розширеної пролітної будови встановлювали порівнянням прогинів балок до та після реконструкції. Результати порівняння у вигляді суміщених епюр прогинів за різних схем навантаження показані на рис. 4, б; 5, б. Під час навантаження наявної пролітної будови двома колонами автомобілів за схемою ІІ максимальний прогин крайньої балки становив 15,74 мм, а після розширення за тією

самою схемою навантаження (схема Ір) зменшився до 6,31 мм, тобто в 2,49 разу. За максимального навантаження розширеної пролітної будови двома колонами з шести автомобілів (схема Пр-г) прогин крайньої балки становив 10,58 мм, тобто був у 1,55 разу менший ніж максимальний прогин тієї самої балки в наявній пролітній будові. Наведене порівняння максимальних прогинів крайньої балки до та після розширення пролітної будови і зміни її статичної схеми за однакових схем навантажень та ступінь їх зменшення свідчить про значний вплив накладної плити і нерозрізності на збільшення жорсткості балок, загальної поперечної жорсткості пролітної будови та характер розподілу навантажень між балками, а майже лінійний розподіл прогинів балок реконструйованої пролітної будови свідчить також про можливість її просторового розрахунку без великої похибки за пружною стадією роботи. Аналіз характеру просторової роботи пролітної будови під навантаженням проводили не тільки за характером епюр і графіків розподілу прогинів, а також порівнянням



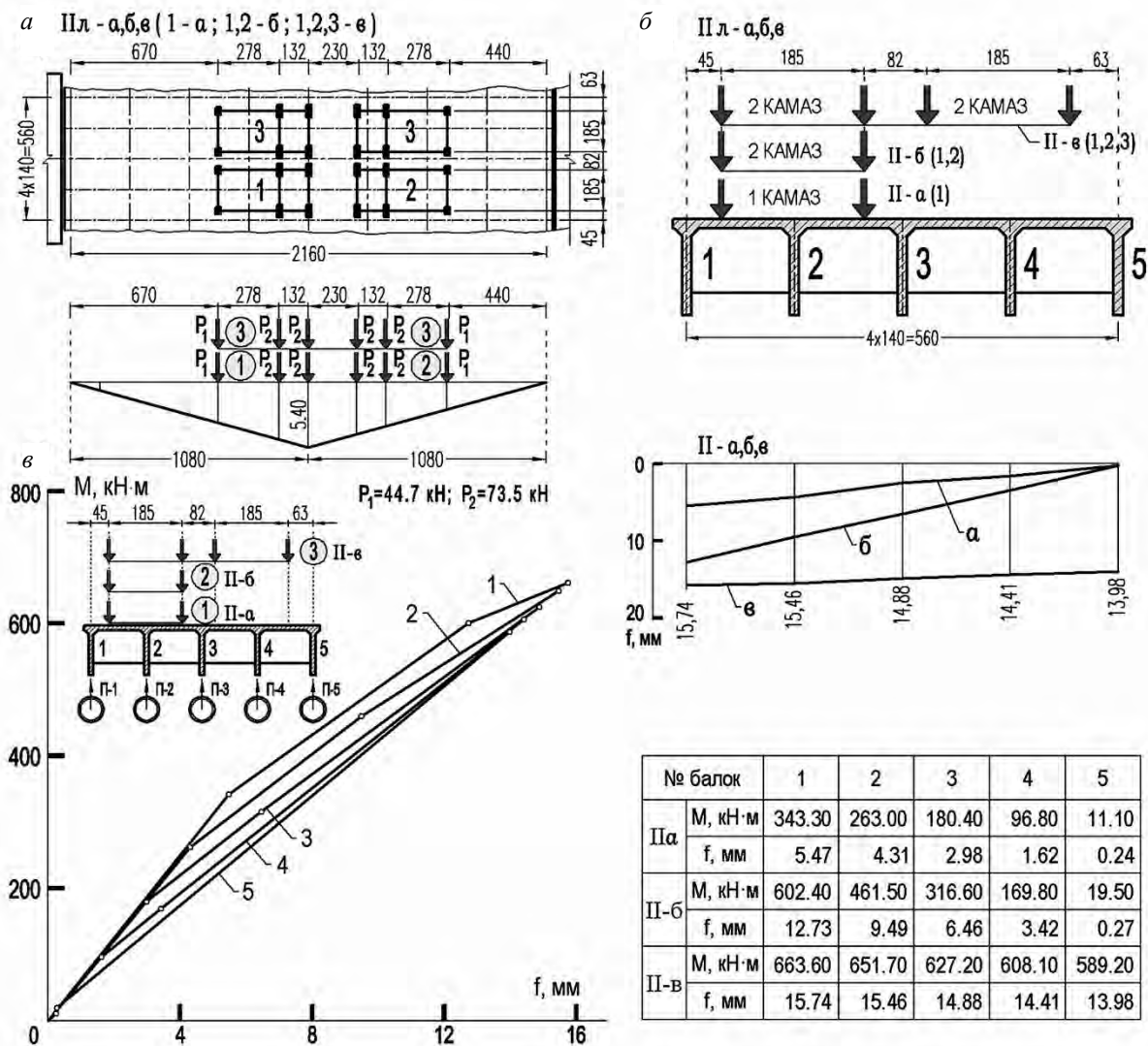


Рис. 3. Схеми навантаження II – а, б, в (л – ліва) (а), епюри (б) і графіки (в) прогинів балок під час випробувань наявної прольотної будови

розрахованих (*cal*) експериментальних (*exp*) коефіцієнтів поперечного розподілу тимчасового навантаження (КПР), які для наявної і розширеної прольотної будови визначали за вимірними прогинами балок, допускаючи, що розподіл випробувального навантаження між балками пропорційний їхнім прогинам. Насправді, як показано і обґрунтовано в роботі [4], за цим співвідношенням експериментально визначали не КПР навантаження, а КПР згинальних моментів між балками від цієї схеми навантажень (КПРМ), тобто:

$$\eta_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \text{КПРМ} = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (1)$$

де η_i – фактичний коефіцієнт поперечного розподілу згинальних моментів для i -ї балки; f_i – величина пружного прогину i -ї балки, виміряного під час випробувань; n – кількість балок у поперечному перерізі прольотної будови, прогини яких вимірювали; M_i – розрахований згинальний момент від колон випробуваного навантаження в i -й балці прольотної будови під час визначення КПР за методом позацентрового стиску; $\sum M_i$ – сумарний згинальний момент на прольотну будову від цієї самої схеми навантаження при КПР = 1,0.

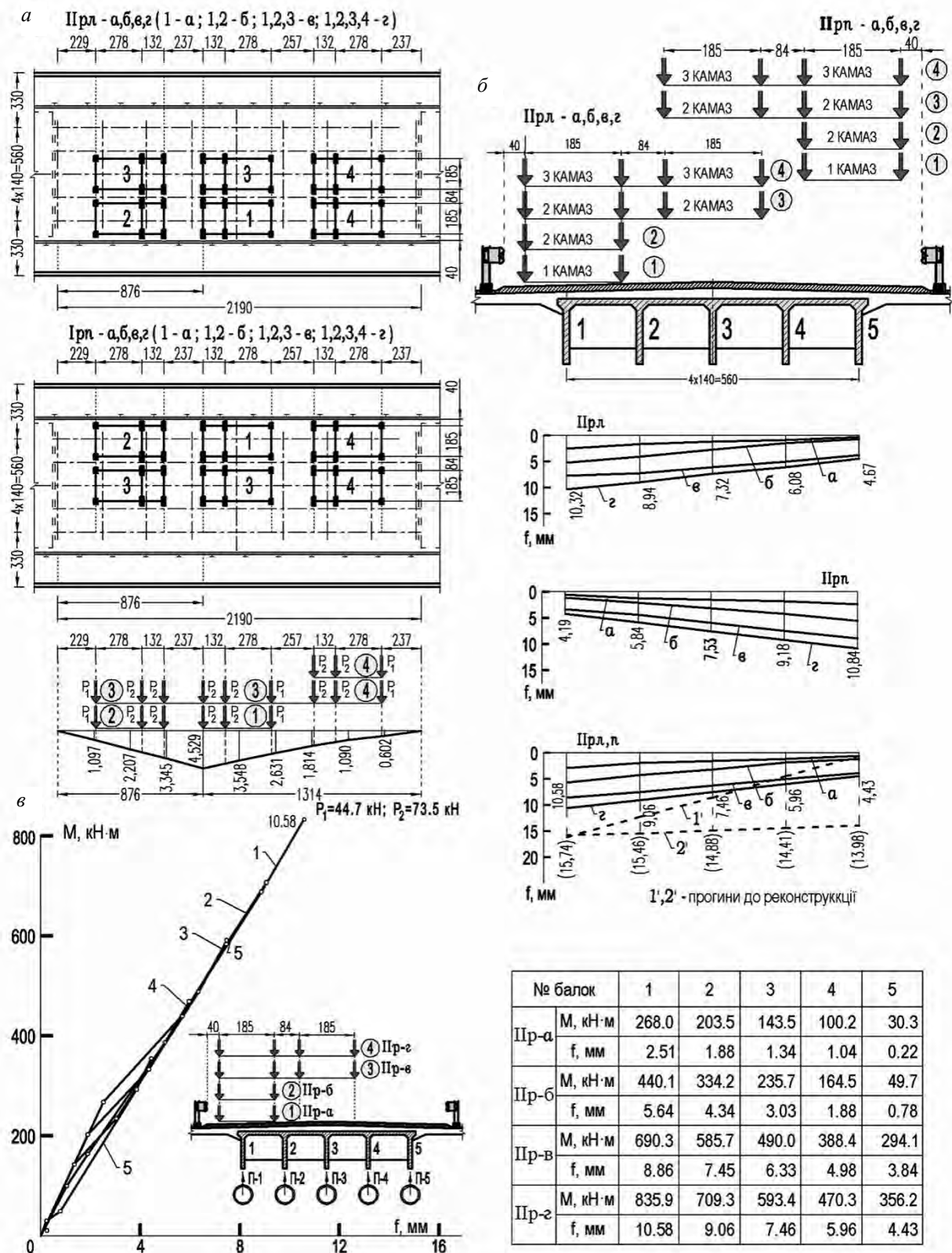


Рис. 5. Схеми навантаження Пр – а, б, в (л – ліва, п – права) (а), етюри (б) і графіки (в) прогинів балок під час випробувань реконструйованої пролітної будови

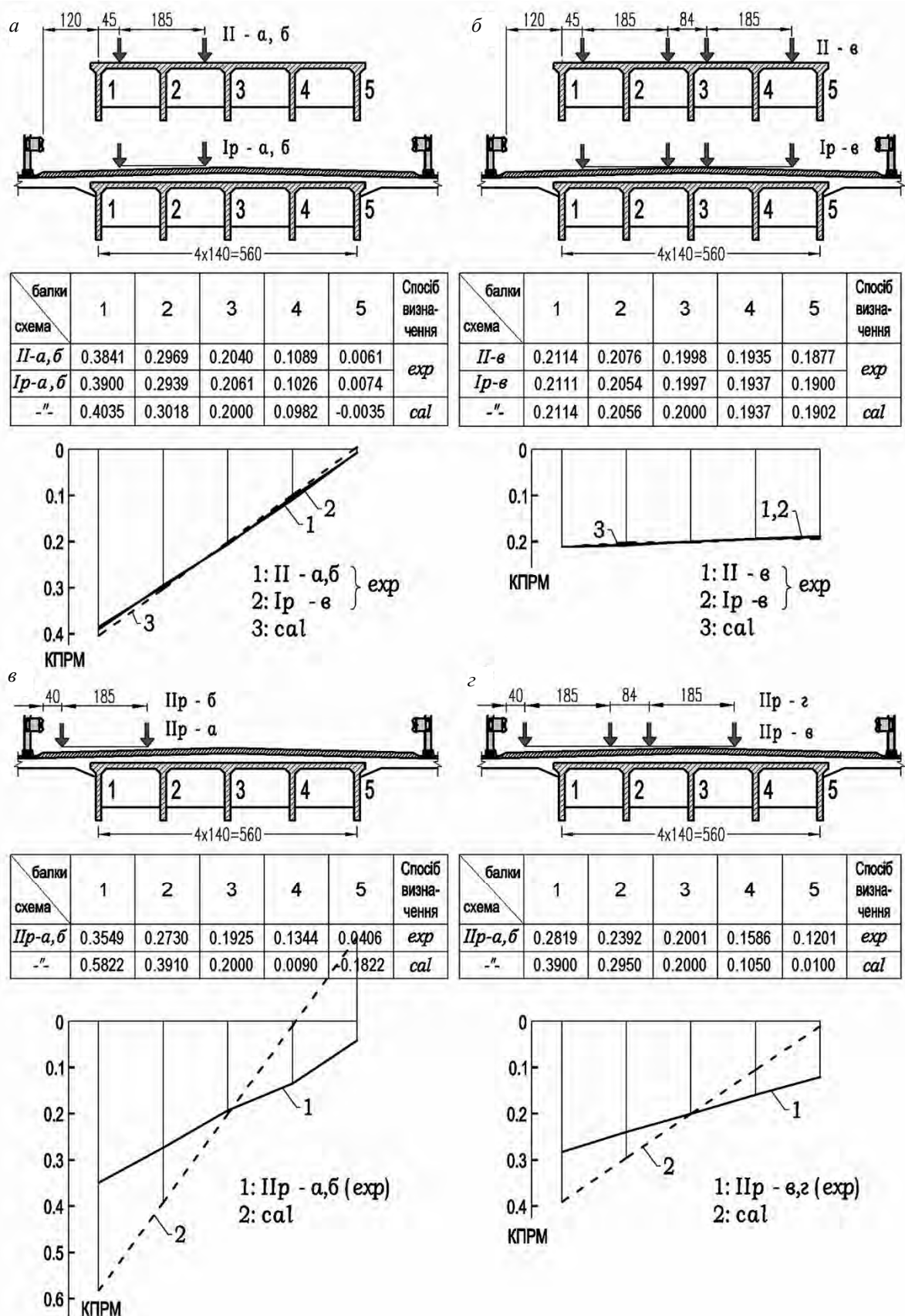


Рис. 6. Порівняння експериментальних (exp) і розрахованих (cal) КПР для наявної і розширеної пролітних будов при схемах випробувального навантаження без виходу (а,б) і з виходом (в,г) на консольну ділянку накладної плити

Так за схеми навантаження Пр-б для крайньої балки експериментальний КПРМ становить 0,3549, а розрахований 0,5822 (різниця – 45,7 %). Для другої балки розбіжність є також суттєвою і для вказаної схеми навантаження становить 43,2 %. Для третьої (середньої) балки експериментальні та теоретичні КПР практично збігаються. Це свідчить, що поворот пролітної будови за її одностороннього навантаження проходить по осі симетрії. За несиметричного навантаження розширеної пролітної будови поперек прольоту двома колонами автомобілів (схеми Пр-в; Пр-г) експериментальні КПРМ також виявились значно меншими від теоретичних (рис. 6, з). Так, для крайньої балки експериментальний і розрахований КПРМ відповідно становлять 0,2819 і 0,3900 (різниця – 38,3 %). Експериментальні КПРМ збігаються з розрахованими тільки для середньої (3-ї) балки, що мало місце і під час випробувань за схемою Пр-а,б і свідчило про повертання пролітної будови за одностороннього навантаження відносно осі симетрії.

Висновки

1. Експериментальна реконструкція залізобетонної прольотної будови за ТП вип. 56 після тривалого періоду експлуатації з підсиленням балок зміною статичної схеми з розрізної на нерозрізну та залучення до сумісної роботи з ними монолітної залізобетонної накладної плити підтвердила ефективність технологічності і надійності прийнятих конструктивних рішень, а випробування пролітної будови до та після розширення і підсилення балок підтвердили його ефективність у підвищенні основних її експлуатаційних показників – міцності, жорсткості і тріщиностійкості.

2. Значне зменшення виміряних під час випробувань прогинів балок свідчить про надійне залучення до сумісної роботи з ними конструктивних елементів зміни статичної схеми та монолітної залізобетонної накладної плити і внаслідок цього збільшення як жорсткості балок, так і поперечної жорсткості прольотної будови в цілому.

3. Аналіз результатів статичних випробувань найбільше навантаженої пролітної будови крайнього прольоту показав, що за несучою здатністю, тріщиностійкістю і деформативністю реконструйована пролітна будова відповідає експлуатаційним вимогам чинних норм проектування нових мостів ДБН В.2.3-14:2006 і придатна для подальшої експлуатації на нормовані тимчасові навантаження А15 і НК-100, що доказує можливість подальшого використання пролітних будов за ТП. вип. 56 і продовження терміну їх експлуатації, зіставного з новозбудованими мостами.

1. Кваша В. Г. Ефективні системи розширення і підсилення залізобетонних балкових прольотних будов автодорожніх мостів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. / В. Г. Кваша. – К. : КНУБА, 2002. – 33 с. 2. Кваша В. Г. Обстеження та випробування автодорожніх мостів / В. Г. Кваша. – Львів : Ви-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2002. – 102 с. 3. Кваша В. Г. Реконструкція залізобетонного моста з прольотними будовами за ТП вип. 56. / В. Г. Кваша, Л. В. Салійчук, В. В. Мельниченко, З. Т. Лапініна // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К. : НТУ, 2004. – Вип. 69. – С. 74–84. 4. Кваша В. Г. Аналіз розподілу тимчасового навантаження між балками прольотної будови за результатами натурних випробувань / В. Г. Кваша, В. С. Рачкевич // Вісник “Теорія і практика будівництва”. – Львів : НУЛП, 2008. – № 627. – С. 122–128. 5. Кваша В. Г. Відновлення автодорожнього моста після наслідків повені з розширенням і підсиленням прольотної будови. 6. Кваша В. Г. Розширення прольотної будови автодорожнього моста з її підсиленням зміною статичної схеми без влаштування деформаційних швів / В. Г. Кваша, Л. В. Салійчук, В. С. Рачкевич // Дороги і мости. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 9. – С. 106–111. 7. Матаров И. А. Сборные железобетонные мосты с многорядной сварной арматурой / И. А. Матаров, Л. С. Смирнова, А. Л. Шилина. – М. : Автотрансиздат, 1959. – 186 с. 8. Рачкевич В. С. Експериментальні дослідження бездіафрагмової прольотної будови моста під час реконструкції / В. С. Рачкевич, В. Г. Кваша, Л. В. Салійчук // Вісник “Теорія і практика будівництва”. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2013. – № 755. – С. 340–349. 9. Рачкевич В. С. Реконструкція автодорожніх мостів з підсиленням залізобетонних балок зміною статичної схеми. / В. С. Рачкевич, В. Г. Кваша, Л. В. Салійчук // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса : ОДАБА, 2013. – Вип. № 49, Ч. I. – С. 282–289. 10. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах // Пролётные строения железобетонные, сборные с каркасной арматурой периодического профиля. – М. : Стройиздат, 1958. – Вып. 56. – 56 с. 11. Шестериков В. М. Экономическая эффективность уширения мостов на автомобильных дорогах. Обзорная информация / В. М. Шестериков, Э. В. Дингес. – М. : ЦБНТИ, 1983. – 64 с.