

Чубик Р. В.

*Прикарпатський
фінансово-
економічний
коледж*

Ярошенко Л. В.

*Вінницький
державний
аграрний
університет*

УДК 621.9.048

ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРО-МАГНІТНИМ ВІБРОПРИВОДОМ АДАПТИВНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Предложено устройство для стабилизации технологически оптимальных параметров вибрационного поля адаптивных вибрационных технологических машин, позволяющее постоянно поддерживать технологически оптимальные параметры вибрационного поля в процессе изменения массы загрузки рабочего органа машин или режимов их работы.

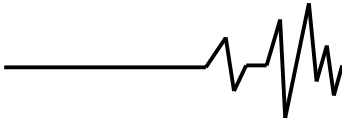
Device is offered for of stabilization of technologically optimal parameters of vibration field of adaptive vibration technological machines is offered allowing, to support constant technological optimal parameters of vibration field in the process of changing load weight of working organ of machines or modes of their operations.

Незважаючи на широке розповсюдження вібраційної обробки для виконання фінішних оздоблювально-зачисних операцій, що становлять значну долю від загальної трудомісткості виготовлення деталей, ряд технологічних операцій, особливо при обробці легко пошкоджуваних деталей, все ще важко реалізувати на традиційних вібраційних машинах, які як правило, працюють у далеко за резонансних режимах. Окрім складності реалізації вказаних технологічних процесів, такі вібраційні машини мають значні не продуктивні втрати енергії на привод коливань робочих органів, а при їхньому запуску чи зупинці під час проходження через резонансну частоту, значно зростає амплітуда коливань робочих органів, що може призвести до пошкоджень самих машин та оброблюваної ними продукції. З цієї ж причини, привідні електродвигуни цих вібромашин мають завищену встановлену потужність, яка необхідна при їхньому запуску і переході через резонанс а при усталених режимах роботи вони працюють зі значними недовантаженнями.

Тому виникає необхідність розробки пристроїв керування вібраційними машинами, які б забезпечували стабілізацію резонансних

технологічно оптимальних параметрів та режимів роботи цих машин. Запропонований пристрій керування електромагнітним віброприводом вібраційних технологічних машин може знайти застосування в машинобудуванні та приладобудуванні, а також в гірничо-переробній промисловості та сільськогосподарському виробництві.

Відомо ряд пристроїв для керування електромагнітним віброприводом вібраційних технологічних машин (ВТМ) зокрема [1], в якому синхронізований із мережею генератор пилоподібних імпульсів, дільник імпульсної послідовності, генератор запускаючих імпульсів, силовий тиристор підключено до блоку живлення, що підключений до дільника імпульсної послідовності і генератора запускаючих імпульсів, а дільник імпульсної послідовності виконано у вигляді тиристора, конденсатора, стабілітрона та змінного опору, з'єданого через конденсатор зі стабілітроном, підключеним до управляючого електроду тиристора, анод якого з'єднано із катодом стабілітрона і конденсатором при чому вихід дільника імпульсної послідовності підключено до генератора пилоподібних імпульсів, а через генератор запускаючих імпульсів – до



управляючого електроду силового тиристора. Даний пристрій забезпечує фазо-імпульсне регулювання, із можливістю зміни цілочисельного значення коефіцієнта ділення випрямленої напруги, це дозволяє регулювати частоту роботи віброприводу. Недоліком даного пристрою є те, що він не може автоматично змінювати частоту роботи віброприводу при зміні маси завантаження робочого органу ВТМ.

Відомий також пристрій, що дозволяє здійснювати автоматичне підлаштування частоти вимушуючої до резонансної частоти механічної коливної системи [2] у якому, за рахунок відслідковування власної частоти коливаний механічної коливної системи, проходить процес підсилення сигналу отриманого від датчика вібрації двома підсилювачами, а вихідний силовий сигнал подається на електромагнітний вібропривод адаптивної вібраційної технологічної машини (АВТМ). Однак і цей пристрій має такі недоліки:

- збільшення приведеної маси приводить до зменшення резонансної частоти механічної системи [3], і система керування проводить зміну частоти з певною точністю, але для того щоб амплітуда коливаний системи, тепер уже із більшою масою, на новій резонансній частоті залишилася не змінною необхідно проводити автоматичну корекцію амплітуди вимушуючої сили, але дана система керування не може проводити автоматичного регулювання амплітуди вимушуючої сили.

- у моменти запуску, розвантаження та довантаження робочого органу ВТМ, механічна коливна система суттєво та різко відходить від власної резонансної частоти, що є причиною зменшення амплітуди сигналу на виході датчика зворотного зв'язку та появи хаотичних коливаний у колі зворотному зв'язку, і після підсилення такий сигнал не буде синхронною вимушуючою функцією і не зможе стабілізувати роботу ВТМ на новій власній резонансній частоті, тому це буде причиною затухання ВТМ, отже пристрої керування електромагнітним віброприводом такого типу є не стійкими та не стабільними в моменти запуску, розвантаження та довантаження робочого органу АВТМ.

Більш досконалим у цьому відношенні є пристрій [4], у якому для керування електромагнітним віброприводом адаптивних вібраційних технологічних машин, який складається із робочого органу з вібродатчиком, що встановлений на пружній системі та електромагнітного віброприводу який з'єднаний із блоком керування, що виконаний у вигляді промислового мікроконтролера із зашитою програмою корекції

параметрів коливного руху та пов'язаний через інтерфейс із перетворювачем частоти, який забезпечує живлення електромагнітного віброприводу широтноімпульсно модульованою двополярною напругою. Такий пристрій дозволяє автоматизувати процес керування роботою адаптивних вібраційних технологічних машин, за рахунок регулювання одночасно двох параметрів – частоти та амплітуди, що необхідно для забезпечення оптимальних режимів роботи при мінімальних затратах енергії на вібропривод.

Недоліком даного пристрою є те, що програмне забезпечення яке реалізує корекцію параметрів коливного руху АВТМ базується на покроковому принципі [5] пошуку екстремуму амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) АВТМ. Пристрої керування такого типу вираховують приріст керованої величини [6, 7] і за допомогою певних законів генерують керуючий вплив на вібропривод. Якщо АВТМ працювала на вершині максимуму АЧХ АВТМ і відбулась зміна маси завантаження робочого органу на певну величину то за приростом амплітуди коливаний робочого органу неможливо визначити напрям зміни маси робочого органу, тому пристрої та системи такого типу роблять пробну корекцію, у даному випадку це зміна циклічної частоти віброприводу і за реакцією механічної коливної системи АВТМ визначають напрям переміщення власної резонансної частоти АВТМ при новій масі завантаження робочого органу. Маючи інформацію про напрям зміни власної резонансної частоти АВТМ, даний пристрій починає проводити корекцію циклічної частоти віброприводу у необхідну сторону за певним законом керування, аж до моменту коли у АВТМ виникне обернена реакція на приріст циклічної частоти віброприводу. Тобто, коли на зміну циклічної частоти віброприводу у певну сторону, виникає додатний приріст амплітуди коливаний система виконує таку корекцію, а як тільки виникає зменшення амплітуди при тому ж самому напрямі приросту циклічної частоти віброприводу, пристрій зупиняє корекцію циклічної частоти віброприводу. Отже даний пристрій керування АВТМ затрачає додатковий час на встановлення напряму зміни власної резонансної частоти АВТМ і це є причиною того, що АВТМ протягом цього часу знаходиться на режимах роботи, які є енергетично не вигідними.

Основною задачею роботи є розширення функціональних можливостей адаптивних вібраційних технологічних машин, з метою



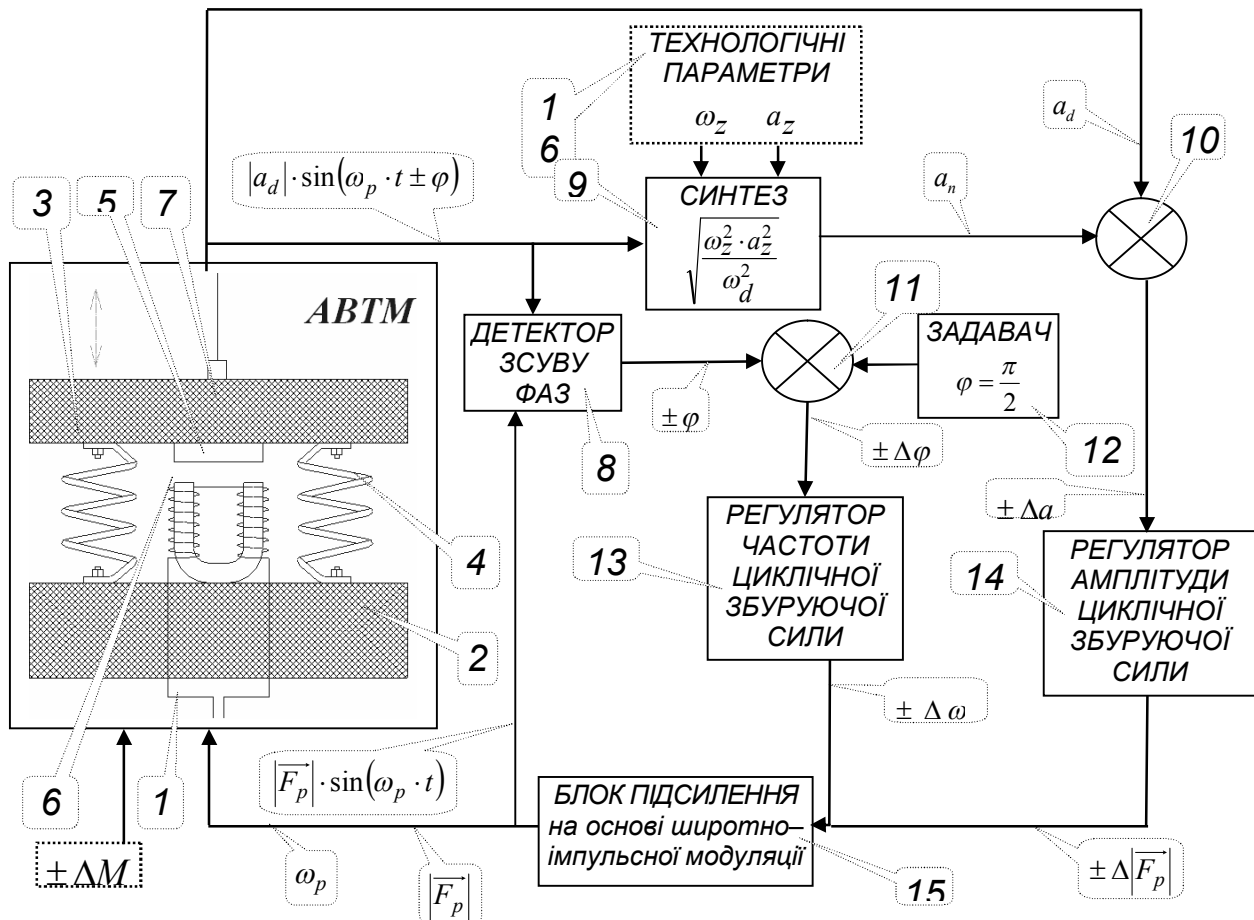
економії електроенергії, що витрачається на їх вібропривод.

На мал. 1 зображено функціональну схему пристрою для керування електромагнітним віброприводом двох масової АВТМ. Двох масова АВТМ 1 складається із реактивної маси 2 та активної маси 3 (робочого органу АВТМ), яка встановлена на пружній системі 4, що закріплена на реактивній масі 2. Електромагнітний вібропривод АВТМ складається із прикріпленого до активної маси 3 якоря 5, та котушки з осердям 6, що встановлена на реактивній масі 2. На робочому органі АВТМ, який є активною масою 3 закріплено датчик вібрації 7, що з'єднаний із входом детектора зсуву фаз 8, елементом синтезу 9 та елементом порівняння амплітуди 10. Вихід елемента порівняння амплітуди 10 з'єднаний із входом елемента порівняння зсуву фаз 11, а на другий вхід елемента порівняння зсуву фаз 11 надходить задане значення зсуву фаз від задавача 12. Вихід елемента порівняння частоти 11 з'єднаний із регулятором частоти

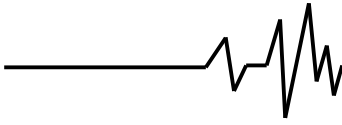
циклічної збуджуючої сили 13, а вихід елемента порівняння амплітуди 10 - із регулятором амплітуди циклічної збуджуючої сили 14. Виходи елементів 13 та 14 з'єднані із входом підсилювача 15, що реалізований на базі широтно-імпульсної модуляції, вихід якого з'єднаний із другим входом детектора зсуву фаз 8 та котушкою з осердям 6 електромагнітного віброприводу АВТМ 1. Два інші входи елемента синтезу 9 з'єднані із елементом завдання технологічно-оптимальних параметрів коливань робочого органу АВТМ 16.

Принцип роботи пристрою наступний: інформація про коливання АВТМ 1 від датчика вібрації 7 у вигляді електричного сигналу [8] надходить на вхід детектора зсуву фаз 8, а на другий вхід даного детектора надходить сигнал від підсилювача потужності 15, який живить електромагнітний вібропривод АВТМ (котушку з осердям 6 віброприводу). Сила, яку розвиває електромагнітний вібропривод, F залежить від геометричних параметрів електромагнітного віброприводу [16] та прямо пропорційна струму тобто сигналу на виході підсилювача 15.

Отже, на два входи детектора зсуву фаз



Мал. 1 - Функціональна схема пристрою для керування електромагнітним віброприводом адаптивних вібраційних технологічних машин



одночасно надходять: сигнал, що прямо пропорційний циклічній збурюючій силі F , та сигнал прямо пропорційний коливанням механічної коливної системи (АВТМ 1), на виході детектора зсув фаз δ формується сигнал який пропорційний зсуву фаз між двома цими коливаннями. Враховуючи, що при резонансних коливаннях зсув фаз між циклічною вимушуючою силою F та коливаннями робочого органу, рівний $\pi/2$ (90°) [15, 16, 17], можна за величиною та знаком сигналу (кута $\pm\Delta\varphi$) визначити на скільки і в яку сторону механічна коливна система АВТМ 1 відійшла від резонансу. Тому сигнал із виходу детектора зсуву фаз δ надходить до елемента порівняння 14 де визначається відповідність умови резонансу АВТМ: $\Delta\varphi = \pi/2$ і на виході елемента порівняння появляється сигнал, величина якого вказує на величину відходження режиму роботи АВТМ від резонансного, а знак на напрям відходження. Цей сигнал поступає в регулятор частоти циклічної збурюючої сили 13 де на підставі класичних законів теорії автоматичного управління (пропорційного, диференційного, інтегруючого ...) [10-13] формується закон за яким проводиться корекція частоти циклічної вимушуючої сили електромагнітного віброприводу АВТМ $\pm\Delta\omega$. Наприклад: якщо завдяки зміні приведеної маси змінилась резонансна частота АВТМ, яка рівна [18]:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{C}{M}}, \quad (1)$$

де C – жорсткість пружної системи АВТМ;
 M – приведена маса АВТМ, що рівна:

$$M = \frac{m_a \cdot m_r}{m_a + m_r}, \quad (2)$$

де m_a - активна маса 3 (маса робочого органу);
 m_r - реактивна маса 2.

Отже зростання маси робочого органу 3 призводить до зростання приведеної маси $\pm\Delta M$, а це в свою чергу є причиною того, що власна резонансна частота АВТМ - f зменшиться на певну величину і механічна коливна система АВТМ 1 відійде від резонансу, а кут зсуву фаз стане, наприклад, рівним $\Delta\varphi = 91^\circ$, тому необхідно проводити корекцію частоти циклічної вимушуючої сили в сторону зменшення ($-\Delta\omega$) аж доти поки $\Delta\varphi$ не стане рівним 90° , а якщо наприклад, кут зсуву фаз стане рівним $\Delta\varphi = 89^\circ$ то корекцію частоти циклічної вимушуючої сили необхідно проводити в сторону її збільшення аж поки $\Delta\varphi$ знову не стане рівним 90° .

Підсилювач 15 підсилює сигнал відкоректований елементом 13 і постійно забезпечує АВТМ 1 синусоїдальною вимушуючою силою, частота якої ω_p постійно відповідатиме власній резонансній частоті АВТМ при будь-якому завантаженні робочого органу 3. Таким чином елементи 7, 8, 11, 12, 13 та 15 складають один контур керування, що коректує частоту вимушуючої сили електромагнітного віброприводу наближуючи та утримуючи її в межах власної резонансної частоти АВТМ 1.

Елементи 7, 9, 10, 14, 15 та 16 являють собою другий контур керування, який призначений для забезпечення підтримки технологічно оптимальних параметрів коливань робочого органу 3 на заданому користувачем (оператором) рівні. Цей контур керування є вторинним і проводить корекцію амплітуди вимушуючої сили електромагнітного віброприводу на кожній новій власній резонансній частоті АВТМ 1 підтримуючи питому роботу вібраційного поля АВТМ на заданому технологічно оптимальному рівні. Первинним є контур керування частотою електромагнітного віброприводу який забезпечує резонансний режим роботи та мінімальні енергозатрати на вібропривод, а вторинний контур лише проводить оптимізацію параметрів вібраційного поля з метою дотримання технологічних оптимальних параметрів роботи АВТМ 1.

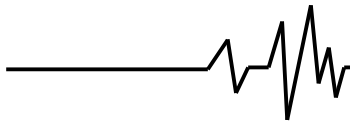
Вторинний контур керування амплітудою коливань робочого органу 3 АВТМ 1 працює таким чином: сигнал пропорційний руху робочого органу 3 поступає від датчика вібрації 7 у елемент синтезу 9 та елемент порівняння 10. Елемент синтезу 9 призначений для визначення необхідної величини амплітуди коливань робочого органу 3 АВТМ на будь-якій частоті (в даному випадку на власній резонансній АВТМ) виходячи із умови точності дотримання технологічних режимів роботи АВТМ. Якщо, наприклад, необхідно підтримувати незмінною технологічно оптимальну інтенсивність віброобробки (питому роботу вібраційного поля) на кожній новій резонансній частоті АВТМ, що рівна [17]:

$$A_{роб} = a^2 \cdot \omega^2, \quad (3)$$

де ω - частота коливань робочого органу 3 АВТМ 1;

a - амплітуда коливань робочого органу 3 АВТМ 1.

Враховуючи вираз (3), в елементі синтезу 9 даного пристрою визначається значення необхідного рівня амплітуди робочого органу АВТМ, виходячи із наступної умови:



$$a_n^2 \cdot \omega_d^2 = a_z^2 \cdot \omega_z^2, \quad (4)$$

де a_n - необхідне значення амплітуди коливань робочого органу АВТМ;

a_z - задане технологічно оптимальне значення амплітуди коливань робочого органу 3 АВТМ 1;

ω_z - задане технологічно оптимальне значення частоти коливань робочого органу 3 АВТМ 1;

ω_d - дійсна власна резонансна частота АВТМ 1 під час віброобробки при певній (змінній) масі завантаження робочого органу 3.

Таким чином у елементі синтезу 9 даного пристрою відбувається співставлення двох параметрів: дійсної амплітуди коливань робочого органу АВТМ (на резонансній частоті) та значення амплітуди коливань робочого органу АВТМ на даній резонансній частоті яке необхідне для того щоб вібраційне поле виконувало задану питому роботу і виробляється сигнал амплітуда якого пропорційна величині відхилення амплітуди коливань робочого органу 3 від його технологічно оптимального значення, а знак даного параметру вказує напрям відхилення:

$$a_n = \sqrt{\frac{\omega_z^2 \cdot a_z^2}{\omega_d^2}}. \quad (5)$$

У результаті порівняння в елементі 10 формується сигнал $\pm \Delta a$, що прямо пропорційний величині відхилення амплітуди коливань робочого органу вібромашини від технологічно оптимального значення для даної частоти віброобробки, який подається у регулятор амплітуди циклічної збуджуючої сили 14 де проводиться корекція амплітуди циклічної збуджуючої сили електромагнітного віброприводу $\pm \Delta |F_p|$, що напрямлена на те щоб звести параметр Δa на виході елемента 10 до нуля ($\Delta a = 0$) [11-15]. Така корекція ($\pm \Delta |F_p|$) здійснюється постійно, як і корекція $\pm \Delta \omega$ яка напрямлена на те, щоб підтримувати постійним в часі співвідношення $\Delta \varphi = \pi/2$.

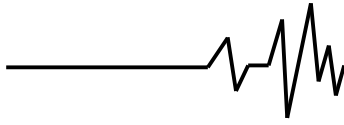
Така конструкція пристрою керування покращує якісні характеристики керування, а саме швидкодію системи (її реакцію на зміну маси завантаження робочого органу) завдяки переходу від покрокового пошукового алгоритму роботи для визначення максимуму амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) АВТМ до слідкуючого принципу роботи і дозволяє із бігом часу відслідковувати зсув фаз

між циклічною вимушуючою силою електромагнітного віброприводу та вібропереміщенням робочого органу АВТМ і за допомогою автоматичної корекції частоти циклічної вимушуючої сили електромагнітного віброприводу забезпечувати відставання фази коливань [14, 16] робочого органу АВТМ від коливань циклічної вимушуючої сили на кут рівний $\pi/2$, що необхідно для забезпечення постійного резонансного режиму роботи АВТМ при різних або змінних масах завантаження робочого органу та підтримання оптимальних із точки зору енергоспоживання параметрів коливань робочого органу АВТМ.

Окрім того, таке конструктивне виконання даного пристрою дозволяє забезпечити мінімальний енергозатрати на електромагнітний вібропривод при постійному резонансному режимі роботи, а також дозволяє забезпечити задані технологічно оптимальні параметри вібраційного поля при змінній власній резонансній частоті АВТМ (відповідно до зміни маси робочого органу). Отже даний пристрій дозволяє забезпечити мінімальні енергозатрати на вібропривод при оптимальних параметрах коливань робочого органу із технологічної точки зору.

Література

1. Устройство для управления вибро-двигателем: А.с. № 967914, СССР, МКИ В 65 G 27/24 А. И. Некрасов, А.Н. Макаров, В. С. Проходцев. – 1981, Бюл. - № 39, - 2с.
2. Электромагнитный вибропривод питателя: А.с. № 776961, СССР, МКИ В 65 G 27/24, Л. П. Рыбак, А. П. Шовкун. – 1980; Бюл. - № 41, - 2 с.
3. Лавендал Э. Э. Вибрации в технике: Справ, в 6 т. - М.: Машиностроение, 1981. – Т.4: Вибрационные процессы и машины. - 510с.
4. Пат. 10123 А Україна, В65BG27/24. Пристрій для керування електромагнітним віброприводом. П. С. Берник, Р. В. Чубик, В. А. Пашистый. - 2005; Бюл. № 11, 4 ст.
5. Чубик Р. В. Адаптивна система керування режимами резонансних вібраційних технологічних машин: Дис... канд. тех. наук. - Львів, 2007. - 266 с.
6. Бесекерский В. А. Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. - Санкт-Петербург: Профессия, 2004. - 752 с.
7. Добрынин С. А., Фельдман М. С., Фирсов Г. И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин. Москва, Машиностроение, 1987, - 225 ст.



8. Сергиенко А. Б., Цифровая обработка сигналов. "Питер" 2003. – 603 ст.
9. Михайлов О. П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990. – 304 ст.
10. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1985 р. - 536 с.
11. Бесекерский В. А. Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. - Санкт-Петербург: Профессия, 2004. - 752 с.
12. Лавендел Э. Э. Синтез оптимальных вибромашин. - Рига: Зинатне, 1970. - 210 с.
13. Куропаткін П. В. Оптимальные и адаптивные системы. - М.: Высш. Школа, 1980. - 287 с.
14. Хайкин С. Э. Физические основы механики. - М.: Наука, 1971. - 751 с.
15. Крюков Б. И. Динамика вибрационных; машин резонансного типа. - К.: Наукова думка, 1997. - 230 с.
16. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. - Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2004. – 248 с.
17. Шмигальський В. Н. Критерий равноценности вибраций различных частот// Труды НИИЖБ. Гостстройиздат. - М.: 1959. - № 11. - С.35-41.