

УДК 62-7

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Жежера Николай Илларионович

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Россия, Оренбург¹

Доктор технических наук, профессор

E-Mail: nik-gegera@mail.ru

Ильин Олег Николаевич

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Россия, Оренбург

Магистрант

E-Mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

Применение вибрации при испытаниях изделий на герметичность жидкостью

Аннотация: Проведен анализ литературных источников и установлено, что вязкость жидкостной среды уменьшается пропорционально амплитуде и частоте ее вибрации, а скорость перемещения частицы жидкости через микрощели изделий возрастает с увеличением амплитуды и частоты вибрации изделия. Из этого следует, что сообщение изделию вибрации должно повышать утечки пробной жидкости через микрощели изделия. Авторами установлено теоретическое выражение для среднего объемного расхода жидкости через микрощель за период колебания от динамического давления при вибрации изделия и статической разности давлений, приложенной к границам изделия при испытаниях на герметичность.

Предложен способ испытаний изделий на герметичность жидкостью с использованием вибрации, которая подводится к изделию во время испытаний изделия. Способ позволяет испытывать изделия на герметичность жидкостью при контроле герметичности изделия с помощью горизонтальной трубки с жидкостным поршнем, эталонной емкости и камеры, заполненных контрольным газом. Жидкостный поршень перемещается в горизонтальной трубке под действием разности давлений контрольного газа, возникающей между эталонной емкостью и камерой с упругой емкостью. Упругая емкость соединена с изделием и заполняется пробной жидкостью. Объем эталонной емкости выбирается по заданной допустимой погрешности испытаний и по объему изделия, испытываемого на герметичность.

Оценку герметичности изделия, испытываемого пробной жидкостью, ведут по перемещению жидкостного поршня в горизонтальной трубке за счет перемещения части контрольного газа в камеру с упругой емкостью, заполненной жидкостью и соединенной с изделием, испытываемым на герметичность.

Испытания изделий на герметичность при сообщении изделию вибрации повышает достоверность и эффективность испытаний за счет интенсификации утечек жидкости через микрощели.

Ключевые слова: Изделие; испытание; давление; герметичность; жидкость; вибрация; расход; горизонтальная трубка; жидкостный поршень; эталонная емкость; микрощель; утечки жидкости.

Идентификационный номер статьи в журнале 32TVN114

¹ 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Nikolay Zhezhera
Orenburg State University
Russia, Orenburg
E-Mail: nik-gegera@mail.ru

Oleg Ilyin
Orenburg State University
Russia, Orenburg
E-Mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

Application of vibration test leak fluid products

Abstract: Literary source have analyzed and it has found that the viscosity of the liquid medium decreases in proportion to the amplitude and frequency of the vibration, but the speed of movement of the fluid particle through the microcracks of the products increases with the amplitude and frequency of the vibration of the microcracks products.

Therefore, that the transmission of the vibration to the product should increase the leakage of test liquid through the microcracks of the product. We have had a theoretical expression for the average volumetric flow rate through the microcracks for the period of the oscillation flow the dynamic pressure due to the vibration of the product and from the statistical pressure difference, which is applied to the borders of the product when one is tested for leaks.

They have offered a way of testing of the product for the leaks with the vibration, which is transferred to the product during the test of the product. The way allows to test the products for leaks by liquid at the monitoring of the products for leaks with a help of a horizontal tube with the liquid piston, a reference capacity and a chamber, with are filled with the test gas. The liquid piston moves in the horizontal tube due to the pressure difference of the test gas. The pressure difference appears between the reference capacity. The elastic capacity is connected with the product and it is filled with a test liquid. The volume of the reference liquid is chosen for a given allowable error of the test which is tested for the leaks.

The product is tested by the test liquid whereupon the tightness of the product is evaluated by movement of the liquid piston in a horizontal tube by moving part of the test gas into chamber with the elastic capacity which is filled with the liquid and which is connected to the product.

Test of products for the leaks when we transfer the vibration to the product, increases the reality and efficiency of the tests due to the intensification of fluid leakage through the microcracks.

Keywords: Product; test; pressure; tightness; fluid; vibration; flow; horizontal tube; the liquid piston; reference capacitance; microcracks; fluid leakage.

Identification number of article 32TVN114

Испытания изделий на герметичность газом или жидкостью проводятся в соответствии с требованиями стандартов [1]. Однако в стандартах отсутствуют методы испытаний изделий на герметичность жидкости с использованием вибрации. Многие изделия в условиях эксплуатации работают при вибрации, например автотракторные радиаторы, топливные баки и баки, заполненные минеральными маслами. Вибрация изделий содействует увеличению расхода жидкости через микрощели изделий в условиях эксплуатации [2, 3, 4]. В работе [5] предложен способ использования вибрации при испытаниях изделий на герметичность жидкостью. В этом способе, кроме применения вибрации к испытываемому изделию, предлагается испытывать изделие на герметичность жидкостью с использованием измерительного устройства - горизонтальной трубки, работающей на контрольном газе (сжатом воздухе). На рисунке 1 представлена схема устройства для испытаний изделий на герметичность жидкостью с использованием горизонтальной трубки при сообщении изделию вибрации.

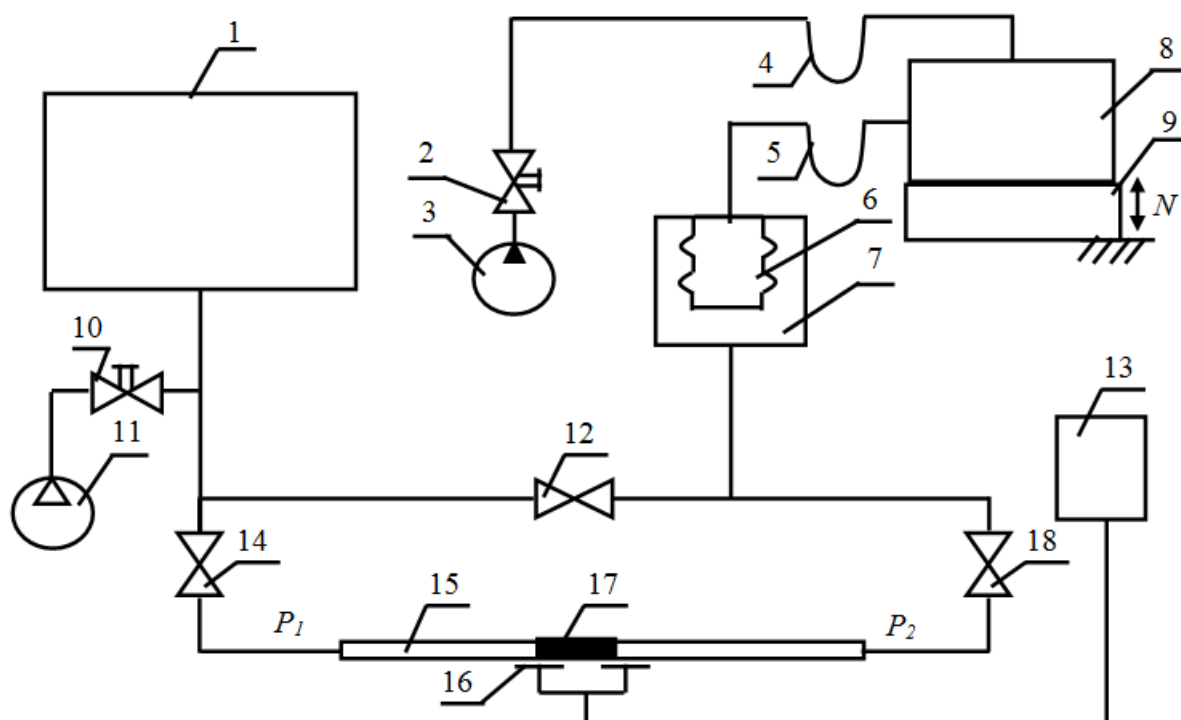


Рис. 1. Схема устройства для испытаний изделий на герметичность жидкостью с использованием горизонтальной трубки при сообщении изделию вибрации

Устройство содержит эталонную емкость 1, которая через вентиль 14 соединена с левой частью горизонтальной трубки 15, а через вентиль 10 – с источником контрольного газа (сжатого воздуха) 11. Источник жидкости 3 соединен через вентиль 2 гибкими трубопроводами 4 и 5 с полостями изделия 8 и упругой емкости 6. Упругая емкость 6 заполняется пробной жидкостью и расположена в камере 7, заполняемой контрольным газом. Изделие 8, заполняемое жидкостью, находится на столе 9, который вибрирует от внешнего источника вибрации. Изделию сообщают вибрацию знакопеременной силы N заданной амплитуды и частоты.

В горизонтальной трубке 15 расположен жидкостный поршень 17, движение которого описано в работах [6, 7]. Правая часть горизонтальной трубки соединена с камерой 7, в которой расположена упругая емкость 6. Емкостный измерительный преобразователь 16 совместно с вторичным регистрирующим прибором 13 предназначены для измерения перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке при испытаниях изделия 8 и оценки его герметичности.

Способ испытаний изделий на герметичность жидкостью с использованием горизонтальной трубки при сообщении изделию вибрации реализуется следующим образом. На основании объема испытываемого на герметичность изделия 8 и заданной допустимой погрешности испытаний [8] определяют объем эталонной емкости 1 [9]. Заполняют под контрольным давлением изделие 8 и упругую емкость 6 пробной жидкостью, а газом - эталонную емкость 1, горизонтальную трубку 15 и газовую камеру 7 с упругой емкостью 6. Для этого открывают вентиль 2, соединяя источник пробной жидкости 3 с изделием 8 и упругой емкостью 6. Открывают вентили 10 и 12 (при закрытых вентилях 14 и 18), соединяя источник газа 11 с эталонной емкостью 1 и камерой 7.

Сообщают изделию 8 вибрацию заданной амплитуды и частоты путем подвода к изделию знакопеременной силы $\pm N$ от возбудителя вибрации 9, которая изменяется по зависимости

$$N = A \sin \omega t,$$

где A – амплитуда колебаний силы, Н; ω – частота колебаний, с^{-1} , t – время, с.

Закрывают вентиль 2 и отключают изделие 8 и упругую емкость 6 от источника 3 пробной жидкости, а эталонную емкость 1 и камеру 7 отключают вентилем 10 от источника 11 газа. Открывают вентили 14 и 18, затем закрывают вентиль 12. Негерметичность изделия 8 определяют по показаниям вторичного измерительного прибора 13, регистрирующего перемещение жидкостного поршня 17 в горизонтальной трубке 15, за время испытаний.

Сообщение изделию 8 вибрации повышает эффективность испытаний изделий на герметичность за счет интенсификации утечек жидкости через микрощели изделия и увеличения их количества за время испытаний изделия. В работе [10], рассматривая «поведение упруговязкопластических и многофазных систем под действием вибрации», отмечается, что «при перпендикулярной вибрации основания по закону $A \sin \omega t$ для тела массой m имеем» «кажущийся коэффициент трения», который определяется по выражению

$$f_1' = f_1 (1 - mA\omega^2 / N), \quad (1)$$

где f_1' – «кажущийся коэффициент трения» тел при вибрации; f_1 – коэффициент трения, который является постоянной величиной; m – масса вибрируемого изделия, кг; A – амплитуда колебаний, м; ω – частота колебаний (вибрации), с^{-1} ; N – сила прижатия изделия, которое вибрируют, Н.

Из формулы (1) следует, что с увеличением амплитуды и частоты колебаний кажущийся коэффициент трения уменьшается.

В работе [11] отмечается, что «при вибрации сухое трение трансформируется (в отношении медленных движений) в нелинейно-вязкое, причем частица, которая при отсутствии вибрации либо покоилась, либо падала (всплывала) ускоренно, теперь падает (всплывает) с постоянной средней скоростью»

$$V_z = \frac{\delta_1}{\sqrt{1 - \delta_1^2}} \frac{m_0}{m_1} (\Delta - 1) r \omega; \quad \delta_1 = m_0 (\Delta - 1) g / F_v, \quad (2)$$

где m_0 – масса среды в объеме, равном объему частицы, кг; m_1 – масса частицы с учетом присоединенной массы, кг; $\Delta = \rho / \rho_0$ – отношение средних плотностей частицы и среды; ω – частота, с^{-1} ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; r – радиус частицы, м; F_v – сила сопротивления движению частицы в вертикальном направлении, Н.

Из формулы (2) видно, что дополнительно к тому, когда частица ускоренно перемещалась через микрощель за счет действия величины g в выражении для δ_1 , при наличии вибрации скорость перемещения жидкостной частицы V_z увеличивается пропорционально частоте вибрации ω .

Т.М. Башта в работе [2] отмечает, что «расход Q жидкости через данный трубопровод, площадь f его сечения и средняя по сечению скорость u течения жидкости связаны соотношением $Q = fu$ ».

Эффективный (кажущийся) коэффициент вязкости (вибровязкости) μ^* , Н·с/м², определяется по формуле [11]

$$\mu^* = F_v \sqrt{1 - \delta_1^2} / 3\pi d R \omega, \quad (3)$$

где d – диаметр частицы, м; R – амплитуда колебаний при вибрации, м.

Как видно из формулы (3) вязкость среды уменьшается пропорционально амплитуде и частоте механических колебаний (вибрации). В работе [2] приводится формула

$$Q = \pi d^4 \Delta p / 128 \mu L, \quad (4)$$

где Q – расход жидкости по трубопроводу (и через микрощель), м³/с; d – диаметр внутреннего сечения трубопровода, м²; Δp – разность давлений, приложенная к участку трубопровода, Па; μ – коэффициент абсолютной (динамической) вязкости жидкости, Н·с/м²; L – длина рассматриваемого отрезка трубопровода, м.

Из формулы (4) следует, что чем меньше вязкость жидкости, протекающей по трубопроводу, тем больше расход жидкости через этот трубопровод.

В работе [3] теоретически установлено, что средний объемный расход жидкости $Q_{\text{вibr.ср}}$, м³/с, через отверстие определяется по выражению

$$Q_{\text{вibr.ср}} = \frac{\pi d^4}{128 \mu L} \Delta P_{\text{ст}} + \frac{\pi d^4}{128 \mu L} \rho_{\text{жс}} h A \omega^2 = \frac{\pi d^4}{128 \mu L} \Delta P_{\text{ст}} \left(1 + \frac{\rho_{\text{жс}} h A \omega^2}{\Delta P_{\text{ст}}} \right), \quad (5)$$

где $\frac{\pi d^4}{128 \mu L} \Delta P_{\text{ст}}$ – статическая составляющая объемного расхода жидкости через микрощель, м³/с, от статической разности давлений, приложенной к границам микрощели изделия;

$\frac{\pi d^4}{128 \mu L} \rho_{\text{жс}} h A \omega^2$ – динамическая средняя составляющая объемного расхода жидкости через микрощель, м³/с, за период колебания динамического давления, приложенного к микрощели при вибрации изделия;

A – амплитуда колебаний изделия с микрощелью, м; ω – частота колебаний изделия с микрощелью, с⁻¹; t – время, с; $\Delta P_{\text{ст}}$ – статическая разность давлений до и после микрощели в изделии, Па; d – диаметр микрощели, м; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с; L – длина микрощели, м. h – высота столба жидкости над микрощелью в изделии, м; $\rho_{\text{жс}}$ – плотность жидкости, находящейся в изделии, испытываемом на герметичность, кг/м³; $\frac{\rho_{\text{жс}} h A \omega^2}{\Delta P_{\text{ст}}}$ – коэффициент вибрационной

перегрузки, то есть отношение динамического (вибрационного) давления к статическому перепаду давлений, приложенному к границам микрощели изделия.

Эта формула позволяет вычислять конкретные расходы (утечки) жидкости через микрощели изделия, испытываемого на герметичность, от статического и динамического (от воздействия вибрации) давлений, приложенных к границам микрощели изделия.

По выражению для коэффициента вибрационной перегрузки можно установить условие, при котором динамическое давление от вибрации изделия может быть больше статического давления внутри изделия, испытываемого на герметичность,

$$\rho_{жс} h A \omega^2 > \Delta P_{ст} \text{ или } A > \frac{\Delta P_{ст}}{\rho_{жс} h \omega^2}.$$

Если принять частоту вибрации изделия $f = 80$ Гц ($\omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 80 = 502,4 \text{ с}^{-1}$), $\rho_{жс} = 998 \text{ кг/м}^3$, $h = 1 \text{ м}$, тогда

$$A > \frac{100000}{998 \cdot 1 \cdot 502,4^2} = 0,0004 \text{ м} = 0,4 \text{ мм}.$$

Такое значение амплитуды вибрации изделия вполне реально для производственных условий испытаний изделий на герметичность. Если принять, что $A = 1,5 \text{ мм}$, тогда динамическое давление в изделии составит

$$\Delta P_{дин} = \rho_{жс} h A \omega^2 = 998 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 502,4^2 = 337850 \text{ Па} = 3,38 \text{ кгс/см}^2$$

Выводы

1. Проведен анализ литературных источников и установлено, что вязкость жидкостной среды уменьшается пропорционально амплитуде и частоте ее вибрации, а скорость перемещения частицы жидкости через микрощели изделий увеличивается с увеличением амплитуды и частоты вибрации изделия. Из этих качественных показателей влияния вибрации на течение жидкости через микрощели следует, что сообщение изделию вибрации должно повышать утечки пробной жидкости через микрощели изделия, испытываемого на герметичность.

2. Установлено теоретическое выражения для среднего объемного расхода жидкости через микрощель за период колебания от динамического давления при вибрации изделия и статической разности давлений, приложенной к границам изделия при испытаниях на герметичность.

3. Предложен способ испытаний изделий на герметичность жидкостью с использованием вибрации, которая подводится к изделию во время испытаний изделия. Способ позволяет испытывать изделия на герметичность жидкостью при контроле герметичности изделия с помощью горизонтальной трубки с жидкостным поршнем, эталонной емкости и камеры, заполненных контрольным газом. Жидкостный поршень перемещается в горизонтальной трубке под действием разности давлений контрольного газа, возникающей между эталонной емкостью и камерой с упругой емкостью. Упругая емкость соединена с изделием и заполняются пробной жидкостью. Объем эталонной емкости выбирается по заданной допустимой погрешности испытаний и по объему изделия, испытываемого на герметичность.

4. Оценку герметичности изделия, испытываемого пробной жидкостью, ведут по перемещению жидкостного поршня в горизонтальной трубке за счет перемещения части контрольного газа в камеру с упругой емкостью, заполненной жидкостью и соединенной с изделием, испытываемым на герметичность.

5. Испытания изделий на герметичность при сообщении изделию вибрации повышает достоверность и эффективность испытаний за счет интенсификации утечек жидкости через микрощели.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24054-80. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. - Введ. 1981-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1987.-18 с.
2. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие / Т. М. Башта. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1971.– 672 с.
3. Жежера, Н. И. Утечки жидкости из вибрируемых изделий, испытываемых на герметичность / Н. И. Жежера // Альманах современной науки и образования. 2012. № 5. С. 56-60.
4. Жежера, Н. И. Развитие теории и совершенствование автоматизированных систем испытаний изделий на герметичность / Н. И. Жежера: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06. - Оренбург : ОГУ. - 2004. 441 с.
5. Патент РФ № 2282167. Устройство контроля герметичности изделий. Авторы изобретения Н.И. Жежера, А.В. Афанасьев. Приоритет от 20.12. 2004. Опубл. 20.08. 2006. Бюл. №23.
6. Жежера, Н. И. Дифференциальное уравнение движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий / Н. И. Жежера // Альманах современной науки и образования. 2012. № 7. С. 35-39.
7. Жежера, Н.И. Анализ влияния сил поверхностного натяжения и сил вязкого трения различных жидкостей на перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий / Н. И. Жежера // Альманах современной науки и образования. 2012. № 9. С. 58-63.
8. Жежера, Н. И. Оценка динамической чувствительности контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой при изменении параметров устройства / Н. И. Жежера // Альманах современной науки и образования. 2012. № 6. С. 55-58.
9. Жежера, Н.И. Выбор объема эталонной емкости при испытаниях изделий на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки / Н. И. Жежера // Альманах современной науки и образования. 2012. № 10. С. 76-79.
10. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. –Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
11. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979. –Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. 1979. – 351 с.

Рецензент: Султанов Наиль Закиевич, заведующий кафедрой систем автоматизации производства Аэрокосмического института ФГБОУ Оренбургский государственный университет, доктор технических наук.

REFERENCES

1. GOST 24054-80. Izdelija mashinostroenija i priborostroenija. Metody ispytanij na germetichnost'. Obshhie trebovanija. - Vved. 1981-01-01. – M.: Izd-vo standartov, 1987.-18 s.
2. Bashta, T. M. Mashinostroitel'naja gidravlika. Spravochnoe posobie / T. M. Bashta. – Izd. 2-e pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1971.– 672 s.
3. Zhezhera, N. I. Utechki zhidkosti iz vibriruemyh izdelij, ispytyvaemyh na germetichnost' / N. I. Zhezhera // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2012. № 5. S. 56-60.
4. Zhezhera, N. I. Razvitie teorii i sovershenstvovanie avtomatizirovannyh sistem ispytanij izdelij na germetichnost' / N. I. Zhezhera: dis. d-ra tehn. nauk: 05.13.06. - Orenburg : OGU. - 2004. 441 s.
5. Patent RF № 2282167. Ustrojstvo kontrolja germetichnosti izdelij. Avtory izobretenija N.I. Zhezhera, A.V. Afanas'ev. Prioritet ot 20.12. 2004. Opubl. 20.08. 2006. Bjul. №23.
6. Zhezhera, N. I. Differencial'noe uravnenie dvizhenija zhidkostnogo porshnja v gorizontальной trubke ustrojstv kontrolja germetichnosti izdelij / N. I. Zhezhera // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2012. № 7. S. 35-39.
7. Zhezhera, N.I. Analiz vlijanija sil poverhnostnogo natjazhenija i sil vjazkogo trenija razlichnyh zhidkostej na peremeshhenie zhidkostnogo porshnja v gorizontальной trubke ustrojstv kontrolja germetichnosti izdelij / N. I. Zhezhera // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2012. № 9. S. 58-63.
8. Zhezhera, N. I. Ocenka dinamicheskoj chuvstvitel'nosti kontrolja germetichnosti izdelij s gorizontальной trubkoj pri izmenenii parametrov ustrojstva / N. I. Zhezhera // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2012. № 6. S. 55-58.
9. Zhezhera, N.I. Vybor ob#ema jetalonnogo emkosti pri ispytaniyah izdelij na germetichnost' gazom s ispol'zovaniem gorizontальной trubki / N. I. Zhezhera // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2012. № 10. S. 76-79.
10. Vibracii v tehnikе: Spravochnik. V 6-ti t./Red. sovet: V.N. Chelomej (pred.). –M.: Mashinostroenie, 1981. –Т. 4. Vibracionnye processy i mashiny / Pod red. Je.Je. Lavendela. 1981. – 509 s.
11. Vibracii v tehnikе: Spravochnik. V 6-ti t./Red. sovet: V.N. Chelomej (pred.). – M.: Mashinostroenie, 1979. –Т. 2. Kolebanija nelinejnyh mehanicheskikh sistem / Pod red. I.I. Blehmana. 1979. – 351 s.