



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 29/14 (2018.08)

(21) (22) Заявка: 2018109645, 19.03.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.03.2018

Дата регистрации:
11.04.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 19.03.2018

(45) Опубликовано: 11.04.2019 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул.
Белорусская, 14, ТГУ, ОИС УСНИД НИЧ

(72) Автор(ы):

Растегаев Игорь Анатольевич (RU),
Данюк Алексей Валериевич (RU),
Аглетдинов Эйнар Альбертович (RU),
Мерсон Дмитрий Львович (RU),
Виноградов Алексей Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "Тольяттинский
государственный университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2515423 C1, 10.05.2014.
Стрелков Петр Борисович, Разработка
методики акустико-эмиссионного контроля
оборудования и трубопроводов атомных
электростанций, Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук, Москва, 2006, весь
документ. Растегаев Игорь Анатольевич,
Применение методики спектрального
анализа акустических (см. прод.)

(54) Способ акустико-эмиссионной диагностики динамического промышленного оборудования

(57) Реферат:

Использование: для акустико-эмиссионной
диагностики промышленного оборудования.
Сущность изобретения заключается в том, что
выполняют запись и обработку данных
акустической эмиссии беспороговым способом,
при этом распознавание вида повреждения и
оценка годности оборудования к эксплуатации
проводится на основании сравнения подобия
информативных параметров акустической

эмиссии за каждый период работы
диагностируемого оборудования. Технический
результат: обеспечение возможности раннего
обнаружения дефектов и повреждений в
оборудовании в условиях низкого соотношения
сигнал-шум при нескольких одновременно
действующих источниках акустической эмиссии
(АЭ). 1 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 684 709 C 1

RU 2 684 709 C 1

Общий алгоритм реализации способа																
Этап	Общий вид получаемых данных															
	графический	цифровой														
1. Регистрация АЭ данных (стрим)		$g(t)$														
2. Фильтрация АЭ данных		$g_1(t) = \hat{F}(g(t))$														
3. Разбиение записи на кадры		$\{g_{11}(t), g_{12}(t) \dots g_{1n}(t)\}$														
4. Вычисление информативных параметров по кадрам записи		$\bar{A}(t), A(t), E(t),$ $RMS(t), M(t), m(t),$ $\sigma(t), s(t), \gamma(t)$														
5. Разбиение временных рядов информативных параметров на кадры		$\bar{A}(T), A(T), E(T),$ $RMS(T), M(T),$ $m(T), \sigma(T), s(T),$ $\gamma(T)$														
6. Оценка подобия и кластеризация циклов работы. Определение типа/вида источника /дефекта.	<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td>[K]</td> <td>90%</td> <td>95%</td> <td>93%</td> <td>60%</td> <td>64%</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td>C_i</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> </tr> </table>	[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%	C _i	I	I	I	II	II	II	$\{C_1, C_2 \dots C_N\}$ $\{[K]_1, [K]_2 \dots [K]_N\}$ C ₁ / [K] ₁ – норма C ₂ / [K] ₂ – дефект 1 C ₃ / [K] ₃ – дефект 2 C _N / [K] _N – дефект N-1
[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%										
C _i	I	I	I	II	II	II										
7. Оценка технического состояния объекта контроля		$[K]_i > [K]_{кр}$ C _i ≠ C _{кр} Годен $[K]_i \leq [K]_{кр}$ C _i = C _{кр} Негоден														

Фиг. 1

(56) (продолжение):

сигналов для исследования трибологических свойств смазочных и контактирующих материалов, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Тольятти, 2009, весь документ. RU 2003119465 A, 20.12.2004. SU 794499 A1, 07.01.1981. US 8195409 B2, 05.06.2012.

R U 2 6 8 4 7 0 9 C 1

R U 2 6 8 4 7 0 9 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 29/14 (2018.08)

(21) (22) Application: 2018109645, 19.03.2018

(24) Effective date for property rights:
19.03.2018

Registration date:
11.04.2019

Priority:

(22) Date of filing: 19.03.2018

(45) Date of publication: 11.04.2019 Bull. № 11

Mail address:

445020, Samarskaya obl., g. Tolyatti, ul.
Belorusskaya, 14, TGU, OIS USNID NICH

(72) Inventor(s):

Rastegaev Igor Anatolevich (RU),
Danyuk Aleksej Valerievich (RU),
Agletdinov Ejnar Albertovich (RU),
Merson Dmitrij Lvovich (RU),
Vinogradov Aleksej Yurevich (RU)

(73) Proprietor(s):

FEDERALNOE GOSUDARSTVENNOE
BYUDZHETNOE OBRAZOVATELNOE
UCHREZHDENIE VYSSHEGO
OBRAZOVANIYA "Tolyattinskij
gosudarstvennyj universitet" (RU)

(54) **METHOD OF ACOUSTIC-EMISSION DIAGNOSTICS OF DYNAMIC INDUSTRIAL EQUIPMENT**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: using for acoustic emission diagnostics of industrial equipment. Essence of invention is that recording and processing of acoustic emission data in a non-threshold manner is performed, at the same time, recognition of the damage type and evaluation of the equipment's suitability for operation is carried out on the basis of comparison of similarity

of informative parameters of acoustic emission for each period of operation of the diagnosed equipment.

EFFECT: providing the possibility of early detection of defects and damages in the equipment under conditions of low signal-to-noise ratio at several simultaneously operating sources of acoustic emission.

1 cl, 1 dwg

RU 2 684 709 C 1

RU 2 684 709 C 1

Общий алгоритм реализации способа																
Этап	Общий вид получаемых данных															
	графический	цифровой														
1. Регистрация АЭ данных (стрим)		$g(t)$														
2. Фильтрация АЭ данных		$g_1(t) = \hat{F}(g(t))$														
3. Разбиение записи на кадры		$\{g_{11}(t), g_{12}(t) \dots g_{1n}(t)\}$														
4. Вычисление информативных параметров по кадрам записи		$\bar{A}(t), A(t), E(t),$ $RMS(t), M(t), m(t),$ $\sigma(t), s(t), \gamma(t)$														
5. Разбиение временных рядов информативных параметров на кадры		$\bar{A}(T), A(T), E(T),$ $RMS(T), M(T),$ $m(T), \sigma(T), s(T),$ $\gamma(T)$														
6. Оценка подобия и кластеризация циклов работы. Определение типа/вида источника /дефекта.	<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td>[K]</td> <td>90%</td> <td>95%</td> <td>93%</td> <td>60%</td> <td>64%</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td>C_i</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> </tr> </table>	[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%	C _i	I	I	I	II	II	II	$\{C_1, C_2 \dots C_N\}$ $\{[K]_1, [K]_2 \dots [K]_N\}$ C ₁ / [K] ₁ – норма C ₂ / [K] ₂ – дефект 1 C ₃ / [K] ₃ – дефект 2 C _N / [K] _N – дефект N-1
[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%										
C _i	I	I	I	II	II	II										
7. Оценка технического состояния объекта контроля		$[K]_i > [K]_{кр}$ C _i ≠ C _{кр} Годен <hr/> $[K]_i \leq [K]_{кр}$ C _i = C _{кр} Негоден														

Фиг. 1

Изобретение относится к акустическим методам неразрушающего контроля, предназначено для технической диагностики промышленного оборудования и подвижных средств с применением метода акустической эмиссии (АЭ) и направлено на раннее обнаружение развивающихся дефектов и повреждений, возникающих в элементах и сборочных единицах диагностируемого оборудования и конструкций во время их эксплуатации при периодически повторяющемся законе изменения нагружающего воздействия. К подобным задачам относятся контроль и диагностика перехода в критическое техническое состояние элементов насосов, компрессоров, роторных установок, двигателей, турбин, донных шаберов, зубчатых передач и др. устройств.

Известны вибродиагностические способы контроля поврежденности динамических систем [1 и др.], основанные на анализе измерения амплитудно-временных и спектральных параметров виброскорости, виброперемещения и виброускорения. Общим недостатком вибродиагностических способов является невозможность контроля тихоходного (низкооборотистого) оборудования и низкая чувствительность. Последнее связано с тем, что вибрация элемента в большинстве случаев реализуется уже на критической стадии его повреждения и является следствием разбалансировки всей динамической системы. Метод АЭ в отличие от вибродиагностического метода (ВДМ) основан на регистрации сигналов от локальных дефектов (коррозия, трещинообразование, выкрашивание контактной поверхности, нарушение условий смазывания/трения и т.д.) в более высокочастотной области с применением более чувствительных преобразователей. АЭ начинает регистрироваться практически одновременно с появлением или началом развития дефекта, т.е. задолго до того, как этот дефект будет способен вызывать вибрацию. Поэтому метод АЭ по сравнению с ВДМ обладает большей чувствительностью к обнаружению начала дефектообразования, позволяет осуществлять более раннее выявление повреждения и отслеживать его развитие вплоть до перехода в критического состояния (мониторинг). Недостатком метода АЭ является трудность принятия решения о дефектности оборудования по АЭ данным, что обусловлено низкой помехоустойчивостью метода и множеством одновременно действующих источников АЭ. На решение данной проблемы и направлено настоящее изобретение.

Известен АЭ-способ диагностики зубчатых передач [2], в котором определяют время длительности выброса максимальных последовательных и неразрывных сигналов АЭ в течение нескольких оборотов колеса зубчатой передачи, по которой определяют размер дефекта на зубьях. Недостатком данного подхода является узкая направленность и, следовательно, применимость способа. Например, при полном изломе зуба сигналы АЭ вообще не будут регистрироваться и способ не распознает потерю зуба шестерни. Кроме того, наличие других периодических источников АЭ приведет к сбою в работе способа, т.к. в нем не заложен алгоритм распознавания источников АЭ.

Известен АЭ-способ диагностики механических трансмиссий [3], заключающийся в том, что на фиксированной частоте вращения вала в узком диапазоне частот в нескольких точках объекта контроля записывают уровень сигнала (амплитуду) АЭ за несколько оборотов вала и сравнивают его с АЭ от бездефектного объекта, зафиксированного в аналогичной точке измерения при тех же условиях. Данный способ за счет нескольких точек измерения АЭ позволяет распознать местоположение источника АЭ, что при известном наборе возможных дефектов в разных местах конструкции позволяет предположить и тип источника АЭ. Однако использование в качестве информативного параметра только уровня сигнала АЭ резко ограничивает возможности

способа и не обеспечивает его помехоустойчивость. Так, например, наличие нескольких дефектов может привести к ложным выводам.

Известен АЭ-способ диагностики подшипников качения букс подвижного состава [4], в котором запись АЭ проводится параллельно нагружению подшипника поперечной нагрузкой с поворотом кольца на угол 180° . О годности подшипника судят путем сравнения числа зарегистрированных сигналов АЭ, отнесенного к углу поворота кольца подшипника с критическим значением данного отношения. Недостатком данного способа является высокая зависимость параметра числа зарегистрированных импульсов от уровня порога дискриминации аппаратуры и качества установки преобразователя АЭ.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение достоверности и обеспечение раннего обнаружения дефектов и повреждений элементов динамического оборудования по АЭ данным.

Указанная задача решается путем распознавания повреждения по изменению самоподобия многомерного параметрического АЭ-образа режима работы оборудования в каждом рабочем/испытательном цикле.

Предлагаемый способ, заключающийся в следующем (Фиг. 1). На корпусе или диагностируемых элементах оборудования устанавливаются один или несколько преобразователей и проводится непрерывная запись АЭ, синхронизированная с периодом работы оборудования. При этом для исключения потери части данных режим регистрации АЭ выбирается беспороговым. Для простоты рассмотрим реализацию способа на примере одного канала регистрации АЭ с которого получаем непрерывный ряд значений амплитудно-волновой формы, описываемый функцией $g(t)$. Далее, при необходимости, проводится предварительная частотная, временная или амплитудная фильтрация данных для устранения шума, помех или сигналов от не исследуемых процессов. После фильтрации $g(t)$ получаем функцию $g_1(t)$. Затем покадрово ($g_{1i}(\Delta t)$, i - номер кадра) оценивается амплитудно-волновая форма АЭ во временной области и спектральная плотность мощности сигнала АЭ в спектральной области. При этом длина кадра (Δt), используемая при обработке сигнала, выбирается в соответствии с принципами: (1) минимальное количество кадров для оптимизации времени расчета; (2) минимальная длина кадра для устойчивого определения параметров событий (дефектов) минимальной длительности.

Для каждого кадра $g_{1i}(\Delta t)$ записи АЭ вычисляется несколько информативных параметров. Основными информативными параметрами для анализа АЭ выбираются: средняя (\bar{A}) и пиковая амплитуда (A), энергия (E), среднеквадратичное значение сигнала (RMS), медианная частота (m), математическое ожидание (M), дисперсия (σ), асимметрия/skewness (s), эксцесс/kurtosis (γ), но могут быть и другие. Последние четыре параметра могут рассчитываться как для амплитудно-временной, так и для спектральной характеристики АЭ. Таким образом, в результате обработки АЭ из исходного ряда данных ($g(t)$ - если не проводится фильтрация данных или $g_1(t)$ - если проводится) получаем несколько параметрических рядов изменения информативных параметров по времени регистрации АЭ ($\bar{A}(t)$, $A(t)$, $E(t)$, $RMS(t)$, $M(t)$, $m(t)$, $\sigma(t)$, $s(t)$, $\gamma(t)$).

Далее, в зависимости от задачи диагностики и чувствительности информативных параметров к определенному виду дефекта или отклонению режима работы выбирается несколько или все указанные параметрические ряды изменения информативных параметров. Параметрические ряды изменения информативных параметров разбиваются на интервалы времени длительностью равной периоду работы оборудования

(длительность технологического и/или оборотного цикла) так, чтобы начало (t_1) и конец (t_2) интервала соответственно совпадало с началом (T_i) и концом (T_{i+1}) рабочего цикла оборудования. Таким образом получаем массив данных изменения информативных параметров АЭ за рабочий цикл оборудования ($f(T)_i = \{\bar{A}(t), A(T)_i, E(T)_i, RMS(T)_i, M(T)_i, m(T)_i, \sigma(T)_i, s(T)_i, \gamma(T)_i\}$, где i - порядковый номер рабочего цикла, $i \in N$). Также в массив анализируемых данных могут быть добавлены данные изменения технологических параметров (давление, расход, температура и т.д.)

Далее проводится анализ изменения информативных параметров АЭ и технологических параметров за рабочие циклы оборудования методами определения подобия и кластеризации числовых рядов.

Оценка подобия числовых рядов за цикл $f(T)_i$ выполняется любым методом кластеризации, который позволяет в результате получить число (характеристику), соответствующее степени подобия циклов друг другу (коэффициент подобия $[K]_i = 0 \dots 1$, где 0 - числовые ряды абсолютно различны, 1 - числовые ряды идентичны). Методы кластеризации предназначены для разделения временных рядов по степени схожести на кластеры ($\{C_1, C_2 \dots C_N\}$), где исходное состояние кластеров может быть предопределено в модельных или имитационных состояниях отклонения от нормальных условий работы, или кластеры формируются в автоматическом адаптивном режиме, т.е. фиксируется отклонение от текущего состояния системы (на момент начала мониторинга).

Обнаружение повреждений элементов динамического оборудования, их оценка и принятие решения о дальнейшей эксплуатации проводится в процессе работы оборудования по достижению коэффициента подобия некоторой установленной критической величины ($[K]_{кр}$), или по появлению кластера недопустимого вида ($C_{кр}$), или одновременно по тому и другому признаку.

При этом способ инвариантен к начальному техническому состоянию объекта контроля, т.е. позволяет проводить диагностику не только от начального (годного/бездефектного) технического состояния объекта контроля, но и с произвольного момента эксплуатации (в котором техническое состояние объекта контроля не известно). В последнем случае принимается, что любое отклонение степени схожести последующих циклов от начального, превышающее величину стандартного разброса значений информативных параметров, является изменением состояния системы, требующим проверки.

Кроме этого, оценка поврежденности оборудования может проводиться на разных временных интервалах: 1) по изменениям, происходящим в части цикла (например, только на этапе увеличения нагрузки, а этап снижения нагрузки может не рассматриваться), 2) по изменениям в каждом цикле путем сравнения степени схожести каждого полного рабочего цикла, или 3) по изменениям за несколько рабочих циклов (оценка изменения технического состояния за час, день, месяц, год...). В зависимости от решаемой задачи приведенные варианты оценки повреждаемости могут проводиться все, выборочно, параллельно или последовательно.

Тип (вид) источника АЭ (дефекта, неисправности, отклонения от нормального режима работы) в зависимости от количества возможных дефектных состояний оборудования может устанавливается по величине $[K]$ и/или по параметрическим особенностям АЭ кластера (C_j). Для исключения влияния изменения режима работы оборудования на результат АЭ диагностики, при реализации способа параллельно с вышеописанными

действиями определяется корреляция между изменениями технологических параметров и АЭ данными. При наличии нескольких возможных режимов работы оборудования сравниваются циклы, полученные при подобных (идентичных) технологических параметрах работы оборудования. Способ применим, как при одноканальной, так и многоканальной реализации метода АЭ. Также способ может быть применен и для контроля статического промышленного оборудования, работающего в условиях циклического изменения нагрузки.

Способ опробован для анализа АЭ данных мониторинга технического состояния тихоходного редуктора (3 об/мин) донного шабера варочного котла, по результатам чего установлено, что указанный способ позволяет отличить нормальный режим работы редуктора, от режима работы с перекосом оси, сломанным зубом зубчатого колеса и с наличием воды в смазке подшипника редуктора. Также способ позволяет оценить качество сборки редуктора после ремонта, причем применение вибродиагностического метода параллельно методу АЭ не позволило различить указанные режимы работы оборудования. Кроме этого, применение АЭ метода в пороговом режиме контроля также не дало положительных результатов, т.к. происходящие изменения АЭ не приводят к появлению сигналов выше порогового уровня, установленного по правилам [5]. Таким образом, предлагаемый способ практически применим и позволяет достичь заявленный результат.

Источники информации

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: в 2 кн. Кн 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / М.: Машиностроение, 2005, с. 829.

2. Потапенко В.С. Способ диагностики зубчатых передач / Патент RU №2337340, 10.01.2007.

3. Иванов С.Л., Поддубная А.А., Фокин А.С. Способ диагностики механических трансмиссий / Патент RU №2427815, 28.12.2009.

4. Степанова Л.Н., Бехер С.А., Кабанов С.И., Тенитилов Е.С. Акустико-эмиссионный способ диагностирования колец подшипника буксового узла железнодорожного транспортного средства и устройство для его осуществления / Патент RU №2391656, 27.06.2008.

5. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов / М.: ПИО ОБТ, 2003.

(57) Формула изобретения

1. Способ акустико-эмиссионной диагностики промышленного оборудования, который заключается в записи и обработке данных акустической эмиссии беспороговым способом, отличающийся тем, что распознавание вида повреждения и оценка годности оборудования к эксплуатации проводятся на основании сравнения подобия информативных параметров акустической эмиссии за каждый период работы диагностируемого оборудования.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что сравнение и определение подобия информативных параметров акустической эмиссии за каждый период работы диагностируемого оборудования происходят в многомерном пространстве с использованием временных рядов нескольких информативных параметров.

Общий алгоритм реализации способа																																						
Этап	Общий вид получаемых данных																																					
	графический	цифровой																																				
1. Регистрация АЭ данных (стрим)		$g(t)$																																				
2. Фильтрация АЭ данных		$g_1(t) = \hat{F}(g(t))$																																				
3. Разбиение записи на кадры		$\{g_{11}(t), g_{12}(t) \dots g_{1n}(t)\}$																																				
4. Вычисление информативных параметров по кадрам записи		$\bar{A}(t), A(t), E(t),$ $RMS(t), M(t), m(t),$ $\sigma(t), s(t), \gamma(t)$																																				
5. Разбиение временных рядов информативных параметров на кадры		$\bar{A}(T), A(T), E(T),$ $RMS(T), M(T),$ $m(T), \sigma(T), s(T),$ $\gamma(T)$																																				
6. Оценка подобия и кластеризация циклов работы. Определение типа/вида источника /дефекта.	<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td>[K]</td> <td>90%</td> <td>95%</td> <td>93%</td> <td>60%</td> <td>64%</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td>C_i</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> </tr> </table>	[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%	C _i	I	I	I	II	II	II	$\{C_1, C_2 \dots C_N\}$ $\{[K]_1, [K]_2 \dots [K]_N\}$ C ₁ / [K] ₁ – норма C ₂ / [K] ₂ – дефект 1 C ₃ / [K] ₃ – дефект 2 C _N / [K] _N – дефект N-1																						
[K]	90%	95%	93%	60%	64%	61%																																
C _i	I	I	I	II	II	II																																
7. Оценка технического состояния объекта контроля	<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr> <td>[K]</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>C₁</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>C₂</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>C₃</td> </tr> <tr> <td>[K]_{кр}</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>C_{кр}</td> </tr> </table>	[K]								C ₁	80								C ₂	60								C ₃	[K] _{кр}								C _{кр}	$[K]_i > [K]_{кр}$ C _i ≠ C _{кр} Годен <hr/> $[K]_i \leq [K]_{кр}$ C _i = C _{кр} Негоден
[K]								C ₁																														
80								C ₂																														
60								C ₃																														
[K] _{кр}								C _{кр}																														

Фиг. 1