

Рис.10. Графік зміни коефіцієнта теплообміну від повітря до поверхні зерна: 1 – експеримент, 2 – розрахунок

На рис.10 приведено порівняння результатів експериментальних досліджень і отриманих по рівнянню (2)

Висновки

Виконані експериментальні дослідження процесів теплообміну в щільному продуваному шарі дрібнозернистого зерна. Отримано узагальнююче рівняння для коефіцієнтів теплообміну на прикладі рапсу. Відносна похибка визначення коефіцієнта теплообміну становить 10%. Узагальнені результати можуть бути використані для проектування систем первинної холодильної обробки дрібнозернистого зерна.

Список літератури:

1. Титлов, А.С. Аналіз перспектив застосування штучного холоду для зберігання зерна в країнах СНГ [Текст] / А.С.Титлов, С.Н.Кудашев, С.Н.Петушенко // Інноваційні харчові технології в області зберігання і переробки сільськогосподарського сировини: матеріали міжнарод. науч.-практ. конф. (23-24 червня 2011 г.) / Рос. акад. с.х. наук, Гос. науч. установа Краснодар. НІІ зберігання і переробки с.-х. продукції. – Краснодар: Видавничий Дім – Юг, 2011. – С.49-53.
2. Горбис, З.Р. Теплообмін і гідромеханіка дисперсних сквозних потоків [Текст] / З.Р.Горбис. – 2-е изд., перераб. і доп. – М.: Енергія, 1970. – 424 с.

Отримано редакцією .06.2013 р.

УДК[658.5.012.1]

ЕГОРОВ В.Б., канд. техн. наук, асистент

Одеська національна академія харчових технологій

АНАЛІЗ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Застосування оцінки стабільності технологічного процесу суттєво розширює можливості системи автоматичного управління, що важливо для підвищення ефективності технологічних процесів харчових і зернопереробних виробств. Важливо впровадження функції управління стабільністю технологічної системи важко переоцінити, так як широке впровадження системи контролю якості НАССР не дозволяє розглядати можливість управління якістю технологічних процесів в динаміці, а тільки в статичній, що не гарантує виробництво якісної продукції.

Ключевые слова: гарантування, стабільність, об'єкт управління, технологічний процес.

Application of an assessment of stability of technological process significantly expands possibilities of system of automatic control that is important for increase of efficiency of technological processes of food products. Stability of technological system it is difficult to overestimate importance of introduction of function of management as widespread introduction of the monitoring system of quality of HACCP doesn't allow to consider possibility of quality management of technological processes in dynamics, but only in a static that doesn't guarantee production of qualitative production.

Keywords: ensuring stability, facility management, technological processes.

Загальні тенденції розвитку промисловості в 21 столітті свідчать про неперервний зростання вимог до якості та безпеки вироблюваного продукту, що зростає витрати на його виробництво і вартість його отримання. На особливий рівень піднімається питання про недопустимість виникнення аварійних зупинок технологічних процесів і простоїв обладнання. Умови ринкових відносин швидко навчили приватний бізнес, що простий обладнання

– це втрата часу, а час це не заробиті гроші, гроші, фактично віддані конкуренту. І харчова промисловість тут не виняток. В складних непростих обставинах стає очевидним, що звичайні системи автоматичного управління технологічними процесами, забезпечують дотримання регламентних параметрів в заданих діапазонах допусків, стає недостатньо. Необхідним стало вивчення можливостей прогнозування роботи технологічної системи, вивчення властивостей технологічного процесу, свідчення про субпроцеси всередині системи, про тенденції їх змін. Важливим фактором в розв'язанні описаної проблеми стає стабільність, як властивість технологічного процесу.

Так чи інакше, питання про стабільність процесу/системи як еквіваленту властивості стійкості, ефективності функціонування, точності, рівноваги і т.д. піднімався ученими неодноразово. Слід згадати важливий внесок в цю справу вченого Ляпунова Александра Михайловича «Загальна задача про стійкість руху», по якій він в 1892 році захистив докторську дисертацію. Важливий внесок в розвиток питання про стабільність в подальшому принесли також В. Кафаров, В. Хубка, Н. Бусленко, С.Саркісян, В. Панфілов, С. Ахназарова, А. Воронов і др.

Определений стабильности на сегодняшний день несколько:

- В. Власов – Под стабильностью технологического процесса или системы в целом принято понимать их способность сохранять достигнутую точность во времени [1];

- А. Воронов – Стабильность какого-либо явления – это его способность достаточно долго и с достаточной точностью сохранять те формы своего существования, при потере которых явление перестает быть самим собой [2];

- А. Цирлин – Стабильность – это условие, которое заключается в том, что при сколько-нибудь малых изменениях условий задачи, столь же мало меняется ее решение [3];

- В. Панфилов – Стабильность – это свойство технологической системы сохранять точность показателей качества продукции во времени. Показатель качественной и количественной изменчивости технологического процесса [4];

- ГОСТ 15895-77 – Стабильность это свойство технологического процесса, которое обуславливает стойкость распределения вероятностей его параметров на протяжении некоторого интервала времени без вмешательства извне [5];

- wikipedia.org – Стабильность это способность системы функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии. Это определение должно быть неизменным во времени;

В качестве количественных показателей точности и стабильности технологического процесса предлагаются различные критерии (показатели стабильности колебаний, коэффициенты точности, настроенности, разброса и т.д.), в тоже время, очевидно, что в любом случае процесс будет точным, если распределение контролируемого параметра не выйдет за границы нормы, и будет стабильным, если этого же не произойдет за некоторый интервал времени.

Для обеспечения статистического контроля стабильности процесса, используют контрольные карты, введенные впервые еще в 1924 году Уолтером Шухартом [6]. Своевременное выявление нестабильности, на что в свою очередь и ориентировано применение контрольных карт Шухарта, рассчитано помочь предотвратить возникновение брака. Цель построения контрольной карты Шухарта — выявление точек выхода процесса из устойчивого состояния для последующего установления причин отклонения и их устранения [7], [8]. Подобный подход применим лишь для производства штучного продукта произведенного из сырья, с заранее известными и практически не изменяющимися во времени свойствами. Построение карт Шухарта по сложным многофакторным технологическим процессам с существенными возмущениями по многим факторам, в т.ч. и по сырью, не применимо.

Важный вклад в наше время в развитие стабильности привнесли д.т.н., проф. Егоров Б.В. и д.ф.м.н., проф. Кац И.С. с формулированием мате-

матических основ оценки стабильности технологических процессов производства премиксов и комбикормов [9], а также д.т.н., проф. Хобин В.А. с разработкой систем гарантирующего управления технологическими агрегатами, позволяющими гарантировать с заданной вероятностью предотвращение событий нарушения регламентов ведения технологического процесса [10]. Тем не менее, вопрос стабильности технологических процессов на сегодняшний день не подведен обобщенной концепцией. Приведем далее ряд очевидных утверждений описывающих стабильность процесса как понятие:

1. Стабильность – это свойство процесса, в т.ч. технологического процесса;

2. Свойство стабильности – это дифференцированное, а не бынарное свойство (т.е. имеет место быть «уровень», или «степень» стабильности);

3. Средство достижения «заданной» степени стабильности процесса – есть управление;

Существует 2 вида стабильности – Абсолютная стабильность (идеализированное понятие, в природе не достижимо) и условная стабильность (метастабильность). На практике возможно применение именно метастабильности. Метастабильность (далее просто «Стабильность») – это свойство технологического процесса, которое характеризуется постоянством на определенном интервале времени соотношений и причинно-следственных связей между тремя ее мультипликативными составляющими:

- a. стабильность показателей качества продукта St_{Δ} ;

- b. стабильность технико-экономических показателей процесса St_{E} ;

- c. массово-объемная стабильность производительности процесса St_{Ξ} ;

Для оценки стабильности процесса на качественном уровне, как и любого другого свойства любого другого процесса, существуют показатели стабильности; Показатели стабильности – это мультипликативные составляющие самой стабильности. Таким образом: $St = St_{\Delta} \cdot St_{E} \cdot St_{\Xi} \cdot \lambda$; где λ – фактор стабильности неучтенной составляющей. При принятом решении не учитывать конкретную составляющую считаем ее равной единице.

Стабильность показателей качества продукта

St_{Δ} – произведение «конечных» стабильностей процессов изменения конкретных показателей качества продукта; Например, для экструдирования,

$St_{\Delta} = St_{\sigma} \cdot St_D \cdot St_C \cdot St_W \cdot \dots \cdot St_N \cdot \lambda$; где St_{σ} -

стабильность изменения пористости продукта;

St_D - стабильность изменения диаметра продукта;

St_C - стабильность изменения цветности продукта;

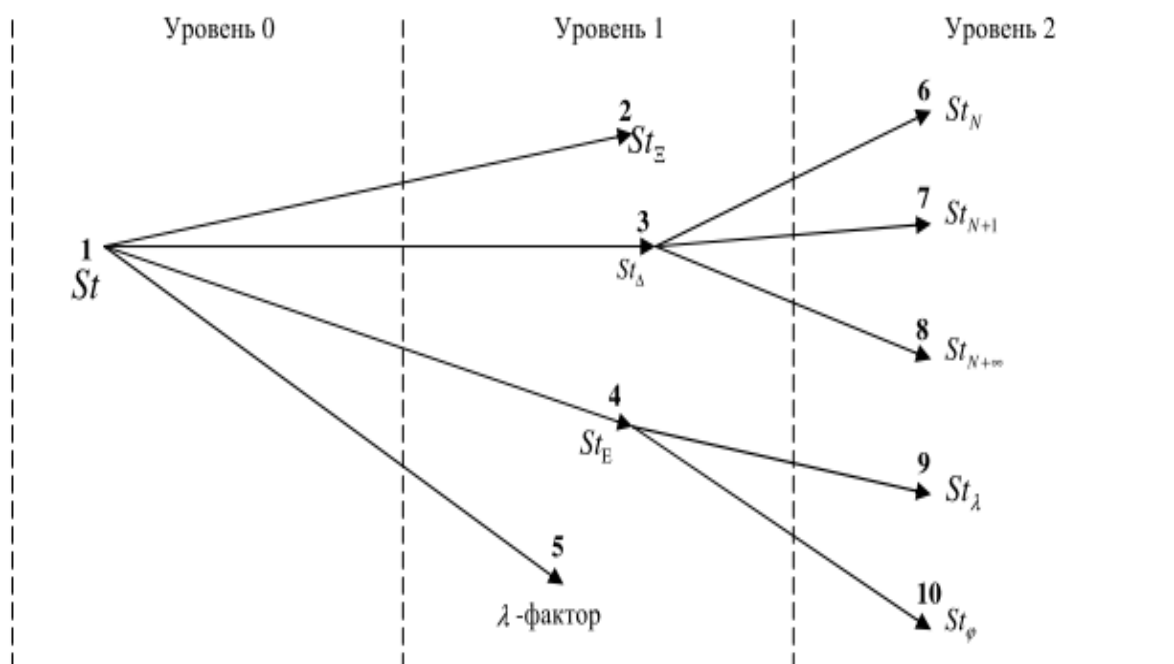
St_W - стабильность изменения влажности продук-

та; St_N - стабільність змінення других показателів якості продукту, таких як вміст білка, ступінь денатурації і т.д. - St_{N+1} ; Из-за більшого часу запоздывания получения оценок качества, для расчета которых требуется проведение лабораторных исследований (St_W, St_N, St_{N+1}), при построении САУ предлагается принять значения таких показателей равным «1». Стабільність техніко-економічних показателів процесу St_E - вироблення «кінцевих» стабільностей процесу змінення ступеня износа оборудования - St_λ и процесу змінення стоимост-

ных показателей составляющих себестоимость выпускаемой продукции - St_ϕ (стоимость сырья, стоимость энергии, стоимость обслуживания оборудования, фонд заработной платы и т.д.); Таким образом: $St_E = St_\lambda \cdot St_\phi \cdot \lambda$. Массово-объемная

стабільність продуктивності процесу St_Σ - «кінцева» стабільність.

Таким образом, обобщенную структуру стабільности можно представить ориентированным деревом (связным ациклическим графом) с корнем, соответствующим общей стабільности (рис. 1).



Этот граф является упорядоченным графом. Исходящие степени всех вершин кроме терминальных (т.е. кроме конечных узлов) не меньше 2. Терминальными вершинами (концевыми узлами) графа, изображенного выше, являются вершины: 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Очевидно, что терминальные вершины могут находиться на любом уровне, кроме нулевого. Подсистемы, соответствующие терминальным вершинам графа в графовом представлении структуры обобщенной стабільности, рассматриваемой как сложная система, являются элементарными компонентами системы - «конечные» стабільности. Представим общую структуру строения стабільности (рис. 2).

Конечная стабільність - это свойство процесса изменения показателя, которое характеризует его способность сохранять значения этого конкретного показателя в заданных границах поля допуска

на протяжении определенного интервала времени при среднеквадратическом отклонении $\rightarrow 0$ и математическом ожидании \rightarrow к середине поля допуска.

Для расчета показателя конечной стабільности различными авторами предлагалось множество методов: через коэффициент вариации и через энтропию функционирующей системы [11 - 14]. Также зарубежными авторами предлагается рассчитывать показатели стабільности с применением дифференциальных уравнений, векторов и линейно нормированных многомерных пространств [15 - 17]. Наиболее эффективным на наш взгляд предложенный в работе [18] метод контроля возможных отклонений показателей качества готовых смесей, где было предложено оценивать стабільность функционирования технологических процессов по формуле (1.1)

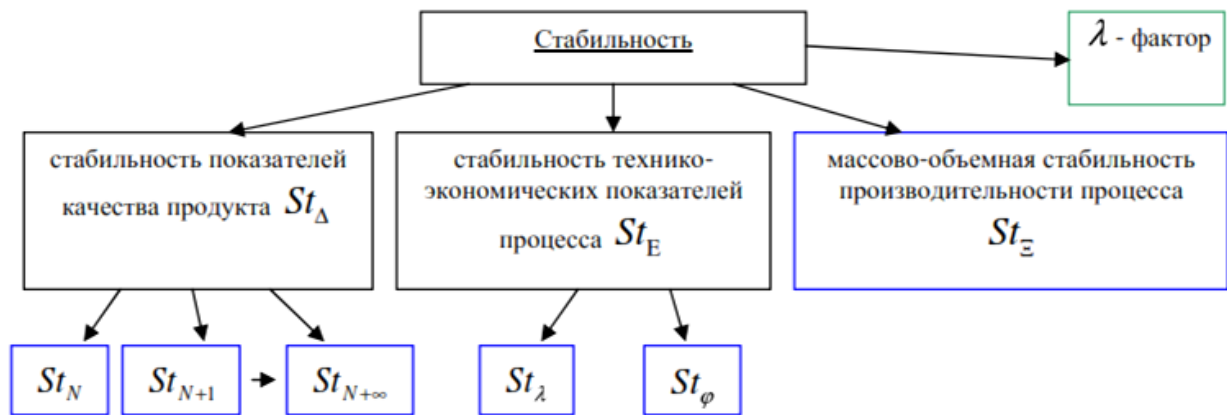


Рис. 2. Стрoение oбщей стабильности

$$St = 1 - \frac{D[x_i]_{\max} - D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}} = \frac{D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}}; \quad (1.1)$$

где $D[x_i]_{\max}$ и $D[x_i]_{\min}$ - максимальная и минимальная дисперсии распределения случайной величины X_i как параметра оценки стабильности функционирования технологической системы.

Однако, все перечисленные методы позволяют получить характеристику не стабильности, а лишь одной из ее свойств. Так, например, предложенная формула для расчета стабильности (1.1) дает представление лишь о стабильности колебаний в процессе, но не характеризует настроенность процесса (соответствие математического ожидания процесса середине поля допусков) и не характеризует нахождение распределения вероятностей процесса в пределах полей допусков.

В своей работе 1981 года [19] Девендра Сахал (профессор Нью-Йоркского университета) предположил, что зачастую появление эффективных решений – это результат синтеза двух или более старых. Так, для решения указанной проблемы предлагаю ввести комбинированный показатель, взяв за основу, предложенную в работе [18] формулу показателя стабильности колебаний и умножив его на составляющие, характеризующие настроенность и нахождение распределения в пределах полей допусков: (1.2):

$$St = \frac{D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}} \cdot e^{\frac{-(\bar{x}-x_{\delta})}{\Delta}} \cdot th\left(\frac{\Delta}{6\sigma}\right) \cdot \lambda; \quad (1.2)$$

где $D[x_i]_{\max}$ и $D[x_i]_{\min}$ - максимальная и минимальная дисперсии распределения случайной величины X_i ; \bar{x} - среднее арифметическое значение (математическое ожидание); x_{δ} - середина поля допуска; Δ - поле допуска; σ - оценка среднеквадратического отклонения; λ - фактор стабильности неучтенной составляющей.

При стремлении всех трех мультипликативных составляющих формулы к единице сам показатель конечной стабильности, $St \rightarrow 1$ т.е. процесс настроен, характерен стабильными колебаниями и распределение вероятности находится в пределах поля допусков;

Анализ составляющих формулы оценки «конечной» стабильности приведен на (рис. 3):

$$St = \frac{D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}} \cdot e^{\frac{-(\bar{x}-x_{\delta})}{\Delta}} \cdot th\left(\frac{\Delta}{6\sigma}\right) \cdot \lambda$$

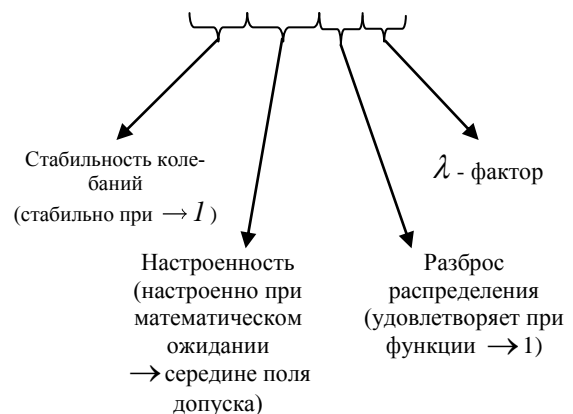


Рис. 3. Анализ составляющих формулы оценки «конечной» стабильности

1. $St = \frac{D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}} \rightarrow 1$ асимптотическое приближение к “1” при стабилизации уровня колебаний процесса;

2. $e^{\frac{-(\bar{x}-x_{\delta})}{\Delta}} \rightarrow 1$ при коэффициенте настроенности $K_H = \frac{\bar{x}-x_{\delta}}{\Delta} \rightarrow 0$;

3. Функция гиперболического тангенса $th\left(\frac{\Delta}{6\sigma}\right) \rightarrow 1$ при индексе разброса $C_p = \frac{\Delta}{6\sigma} \rightarrow \infty$;

Предложенный показатель стабильности является комбинированным, при стабилизации $St \rightarrow 1$ при дестабилизации $St \rightarrow 0$. Стабильность технологического процесса – одна из ключевых характеристик любого процесса, в т.ч. и технологического. Применение оценки стабильности технологического процесса существенно расширяет возможности системы автоматического управления, что важно для повышения эффективности технологических процессов пищевых и зерноперерабатывавших производств. Одним из способов достижения заданного уровня стабильности технологического процесса является применение систем гарантирующего управления для предотвращения события выхода показателя стабильности за определенные оператором границы поля допусков. Кроме того, реализация в системе автоматического управления подсистем гарантирующего управления стабильностью показателей качества позволит свести к минимуму запаздывания в каналах регулирования из-за отсутствия неизбежных ранее непрерывных лабораторных исследований. Важность внедрения функции управления стабильностью технологической системы тяжело переоценить, так как широкое внедрение системы контроля качества НАССР не позволяет рассматривать возможность управления качеством технологических процессов

в динамике, а только в статике, что не гарантирует производство качественной продукции.

Мультипликативность строения стабильности приводит к одному из выводов системного анализа: дестабилизация любой из составляющих стабильности процесса приводит к дестабилизации всего процесса. При этом под дестабилизацией следует понимать процесс, при котором одна из мультипликативных составляющих стабильности уменьшается либо ее изменение приводит к уменьшению любой из остальных двух составляющих стабильности. Состояние равновесия при этом – это состояние системы, при котором показатель стабильности системы находится в одной из точек оптимальности.

Природа соотношений и причинно-следственных связей между тремя мультипликативными составляющими обобщенной стабильности предполагает наличие особого характера взаимного влияния ее составляющих друг на друга, описываемого определенным законом, характерным для каждого технологического процесса в отдельности. Изучение подобного особого характера взаимного влияния составляющих общей стабильности друг на друга – является предметом дальнейших исследований.

Выводы: В работе проанализировано свойство стабильности технологического процесса как понятие, дана структуризация (концепция) свойства обобщенной стабильности и его классификация. Предложена методика расчета общей стабильности и ее составляющих.

Список литературы:

1. Власов, В.Е. Системы технологического обеспечения качества компонентов микроэлектронной аппаратуры [Текст] / В.Е. Власов, В.П. Захаров, А.И. Коробов – М Радио и связь. 1987. – 160 с.;
2. Воронов, А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость [Текст] / А.А. Воронов – М. Наука, 1979. – 336 с.;
3. Оптимальное управление технологическими процессами [Текст] / А.М. Цирлин. – М. Энергоатомиздат. 1986. – 400 с.;
4. Панфилов, В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств [Текст] / В.А. Панфилов. – М. Агрпромиздат. 1991. – 288 с.;
5. Орлов, А.И. «Математика случая. Вероятность и статистика – основные факты» // Учебное пособие. М.: МЗ – Пресс, 2004.;
6. Шухарт, У.А. Экономический контроль качества произведенного продукта [Текст] / Вэн Ноустренд К., Нью-Йорк, - 1931. – 50 с.
7. Барабанова, О.А. Семь инструментов контроля качества [Текст]. – М.: ИЦ «МАТИ» - РГТУ им. Циолковского, 2001. — С. 88.
8. Р 50-1-018-98 «Обеспечение стабильности технологических процессов в системах качества по моделям стандартов ИСО серии 9000. Контрольные карты Шухарта», Москва 1998 г.
9. Егоров, Б.В. Математические основы оценки стабильности технологических процессов производства премиксов и комбикормов [Текст] / Б.В. Егоров, А.В. Макарянская, И.С. Кац // Зерновые продукты и комбикорма. – 2008. – №2. – С. 51 – 55.
10. Хобин, В.А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения [Текст] // Монография – Одесса. – 2008. – С. 304.
11. Черняев, Н.П. Оценка стабильности технологического процесса [Текст] // Наука и Техника, Комбикорма, №3, 2012., – С 51 – 53.
12. Р 50-601-20-91 «Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования)», Москва 1991 г.
13. Горячев, В.В. Оценка точности, настроенности и стабильности технологических процессов [Электронный ресурс]. – www.sds-vr.ru.
14. Херсонский, Н.С. Статистические методы оценки точностных характеристик размерных цепей изделий и технологических процессов их изготовления [Текст] / Н.С. Херсонский, В.В. Прошин – М., 2008.
15. Wojciech Batko. Technical stability – a new modeling perspective for building solutions of monitoring systems for machinery state [Text] // Zagadnienia eksploatacji maszyn. – Zeszyt. – 2007. - №151. – С. 147-156.
16. Zhang Xiaoming, Zhu Limin, Ding Han, Xiong Youlun. Numerical Robust Stability Estimation in Milling Process [Text] // Chinese journal of mechanical engineering. – 2012. – vol. 25. - №5. – С. 953 – 959.
17. Inspargner T., Mann B., ST P N G, et al. Stability of up-milling and down-milling, part 1: alternative analytical methods [Text] // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – 43(1). – С. 25-34.
18. Егоров, Б.В. Оценка однородности смесей и стабильности технологического процесса смешивания [Текст] / Б.В. Егоров, А.В. Макарянская // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». - Харьков. – 2009. – №25. – С. 98 – 103.
19. Девендра Сахал. Технический прогресс: концепции, модели, оценки. – Нью-Йорк. – 1985. – С. 366.

Отримано редакцією .06.2013 р.