

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 628

Г.В. Сакаш, А.Ф. Колова,  
Т.Я. Пазенко

#### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МОЛОКА

G.V. Sakash, A.F. Kolova,  
T.Ya. Pazenko

#### SEWAGE TREATMENT ON MILK PROCESSING ENTERPRISES

**Сакаш Г.В.** – д-р техн. наук, доц., зав. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: sakash51@mail.ru

**Колова А.Ф.** – канд. хим. наук, доц. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: a.f.kolova@mail.ru

**Пазенко Т.Я.** – канд. техн. наук, доц. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: pazenkptat@yandex.ru

**Sakash G.V.** – Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: sakash51@mail.ru

**Kolova A.F.** – Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: a.f.kolova@mail.ru

**Pazenko T.Ya.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: pazenkptat@yandex.ru

В последние годы все большее значение приобретает проблема охраны природы, и прежде всего водных объектов, от загрязнения. Для очистки сточных вод, концентрированных по органическим загрязнениям, наиболее приемлемым является биологический метод очистки по двухстадийной анаэробно-аэробной технологии. Стадия анаэробной обработки проводится в биореакторах, работающих с удержанием биомассы. В работе проведено сравнение эффективности работы биореакторов двух типов: анаэробный биофильтр и комбинированный (гибридный) реактор. В реакторе типа анаэробного затопленного биофильтра сточная вода подавалась через донную распределительную систему, проходила через слой загрузочного материала

и отводилась из верхней части реактора. В качестве загрузки использовали нарезанную полиэтиленовую стружку. В биореакторе комбинированного типа использовали засыпной загрузочный материал из полиэтиленовых колец, который был размещен в верхней части биореактора на поддерживающей решетке. В нижней части биореактора формировался слой анаэробного ила. Исследования проводились на модельных стоках, приготовленных на молоке Красноярского городского молочного завода. Для пуска установок в работу использовали сброженный осадок первичных отстойников правобережных очистных сооружений г. Красноярска. В обработанной воде определяли рН, летучие жирные кислоты (ЛЖК), перманганатную окисляемость (ПО), азот аммо-

нийных солей, фосфор фосфатов.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что из двух исследованных типов биореакторов предпочтителен реактор комбинированного типа, так как pH обработанной воды соответствует требованиям к подаче воды на аэробную стадию, в то время как воду после реактора первого типа необходимо подщелачивать.

**Ключевые слова:** молочная промышленность, сточные воды, анаэробно-аэробная технология, биореактор, органические загрязнения, эффективность очистки.

*In recent years the increasing importance has the problem of environment protection, and first of all water objects, from pollution. For sewage treatment, concentrated on the organic pollution the most acceptable is biological method of cleaning on two-phasic anaerobic and aerobic technology. The stage of anaerobic processing is carried out in the bioreactors working with biomass deduction. In the study the comparison of overall performance of bioreactors of two types was carried out: the anaerobic biofilter and the combined (hybrid) reactor. In the reactor the anaerobic flooded biofilter sewage was pumped through ground distributive system, was distilled through a layer of loading material and taken away from the top part of the reactor. Cut polyethylene shaving was used as loading. In the bioreactor of the combined type heaped loading material from polyethylene rings was used which was placed in the top part of the bioreactor on the supporting lattice. In the lower part of the bioreactor the layer of anaerobic silt was formed. Researches were conducted on the model drains prepared on the milk of Krasnoyarsk city dairy plant. For start-up of installations into the work the dumped deposit of primary settlers of right-bank treatment facilities of Krasnoyarsk was used. In the conditioned water defined pH, the flying fatty acids (FFA), the permanganat oxidability (PO), nitrogen of ammonium salts, phosphorus of phosphates.*

*The conducted researches allowed drawing a conclusion that from two studied types of bioreactors the reactor of the combined type as pH the conditioned water conforms to requirements to water supply of an aerobic stage while water after the*

*reactor of the first type needs to be alkalized.*

**Keywords:** dairy industry, sewage, anaerobic and aerobic technology, bioreactor, organic pollution, cleaning efficiency.

**Введение.** В последние годы все большее значение приобретает проблема охраны природы, и прежде всего водных объектов, от загрязнений. Одним из основных источников загрязнений водоемов является промышленность, в том числе предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции, в частности предприятия по переработке молока: молокоприемные пункты, сепараторные отделения, городские молочные заводы, сыродельные и маслодельные заводы. На этих предприятиях образуются два вида производственных сточных вод: загрязненные и незагрязненные. Загрязнения производственных сточных вод состоят из потерь молока и молочной продукции; отходов производства, реагентов, применяемых при мойке тары; примесей, смываемых с поверхности тары; оборудования; полов и панелей помещений.

Характеристика сточных вод предприятий молочной промышленности представлена в таблице 1 [1, 2].

Как видно из таблицы 1, концентрация загрязнений по ХПК колеблется от 900 до 1400 мг  $O_2/дм^3$ , а по БПК<sub>полн</sub> от 700 до 1000 мг  $O_2/дм^3$ . Таким образом, производственные сточные воды молокоперерабатывающих предприятий можно отнести к группе стоков с высокой концентрацией органических загрязнений, представленных жирами, белками и углеводами.

Как правило, сточные воды предприятий молочной промышленности после локальной очистки сбрасываются в канализационную сеть населенного пункта. Однако при отсутствии такой возможности или экономической нецелесообразности подачи стоков на общие очистные сооружения возникает необходимость в строительстве самостоятельных очистных сооружений.

Таблица 1

## Характеристика сточных вод предприятий молочной промышленности

Производство	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	pH, ед.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>полн</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	N <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор (в пересчете на Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>
Молокоприемные и сепараторные пункты, отделения, заводы	300	6-8	900	700	30	3	100
Гормолзаводы	300	6-8	1400	1100	60	8	100
Заводы сгущенных молочных продуктов	300	6-8	1200	1000	50	7	100
Заводы сухих молочных продуктов	300	6-8	1200	1000	50	7	100
Молочноконсервные комбинаты	300	6-8	1200	1000	50	7	100
Маслодельные заводы	300	6-8	1200	1000	40	6	100
Маслосырзаводы	400	6-8	1200	1000	60	8	100

В настоящее время наиболее широкое распространение применительно к сточным водам предприятий молочной промышленности получила биологическая очистка, основанная на жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Однако традиционные технологии аэробной биологической очистки применительно к высококонцентрированным сточным водам имеют следующие существенные недостатки:

- высокий расход электроэнергии на аэрацию;
- высокий прирост избыточной биомассы, обладающей плохими водоотдающими свойствами и требующей стабилизации;
- неустойчивость к залповым сбросам легкоокисляемых загрязнений и перерывам в подаче сточных вод.

Принципиально иными возможностями обладает процесс метанового сбраживания, осуществляемый в анаэробных условиях [3]. К основным достоинствам анаэробной очистки можно отнести:

- анаэробное разложение органики не требует затрат электроэнергии и позволяет получать ценный энергетический продукт – биогаз;
- прирост избыточной биомассы примерно в 10 раз меньше, чем в аэробном процессе;
- отсутствует необходимость в сложном обо-

рудовании для подачи и диспергирования воздуха;

- устойчивость к длительным перерывам в подаче сточной воды и к залповым сбросам органических загрязнений.

Однако после анаэробной очистки необходимо предусматривать аэробную обработку, т.е. анаэробная очистка может рассматриваться только как предварительная стадия. Таким образом, для очистки сточных вод, концентрированных по органическим загрязнениям, наиболее приемлемым является биологический метод очистки по двухстадийной анаэробно-аэробной технологии.

Стадия анаэробной обработки проводится в биореакторах, работающих с удержанием биомассы. Удерживать биомассу можно разными способами: за счет прикрепления биомассы к загрузке, создания взвешенного слоя биомассы и комбинированным способом [4].

**Цель исследований.** Сравнение эффективности работы биореакторов двух типов: анаэробный биофильтр и комбинированный (гибридный) реактор.

**Объекты и методы исследований:** в качестве биореакторов использовались полиэтиленовые герметично закрытые бутылки диаметром 10 см с отводом газа через гидрозатвор.

В реакторе типа анаэробного затопленного биофилтра сточная вода подавалась через донную распределительную систему, проходила через слой загрузочного материала и отводилась из верхней части реактора. В качестве загрузки использовали нарезанную полиэтиленовую стружку.

В биореакторе комбинированного типа использовали засыпной загрузочный материал из полиэтиленовых колец, который был размещен в верхней части биореактора на поддерживающей решетке. В нижней части биореактора формировался слой анаэробного ила.

Исследования проводились на модельных стоках, приготовленных на молоке Красноярского городского молочного завода. Для пуска установок в работу использовали сброженный

осадок первичных отстойников правобережных очистных сооружений г. Красноярск. При пуске биореакторов учитывали необходимость адаптации внесенной биомассы к новому составу стока. При обработке экспериментальных данных использовали только результаты, полученные после адаптации биомассы. Продолжительность вывода установок на стабильный режим работы составила 1 месяц.

В обработанной воде определяли pH, летучие жирные кислоты (ЛЖК), перманганатную окисляемость (ПО), азот аммонийных солей, фосфор фосфатов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты наблюдений за работой биореакторов представлены на рисунках 1–6.

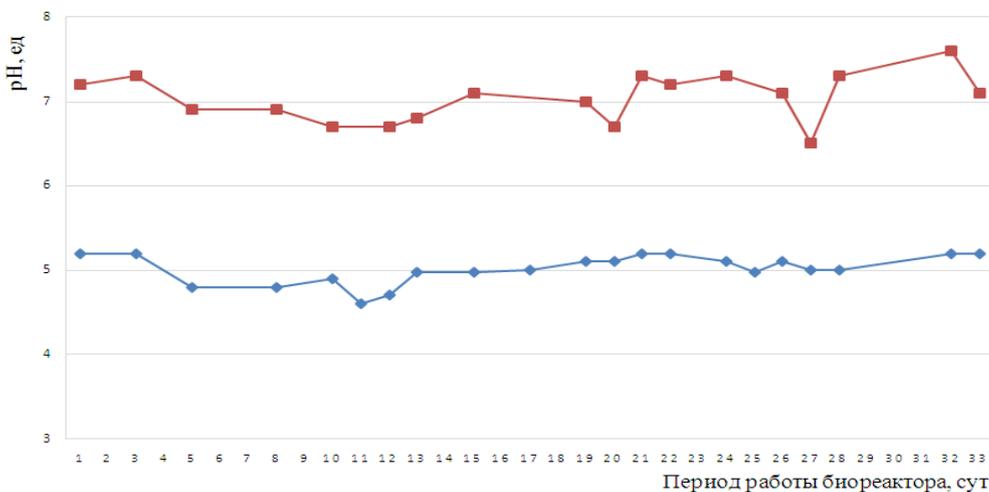


Рис. 1. Колебания pH в период работы биореактора

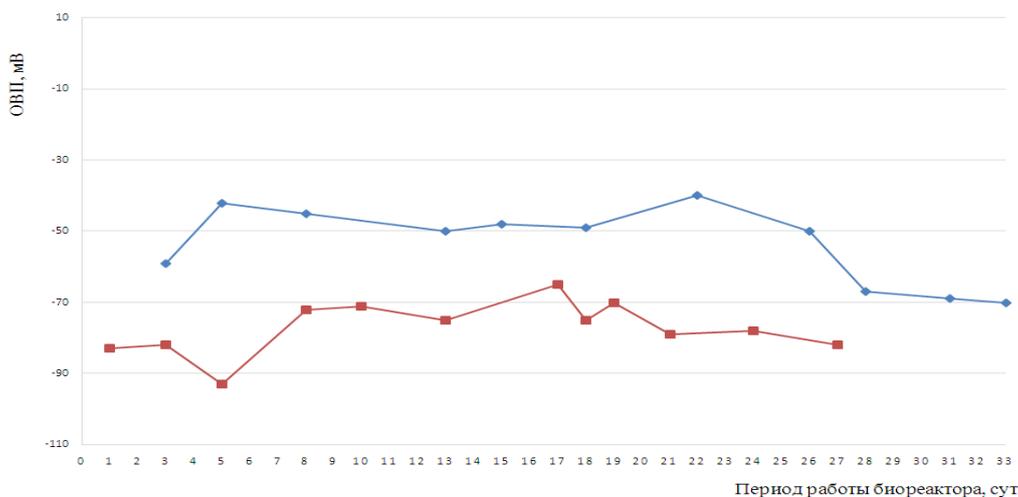


Рис. 2. Колебания ОВП в период работы биореактора

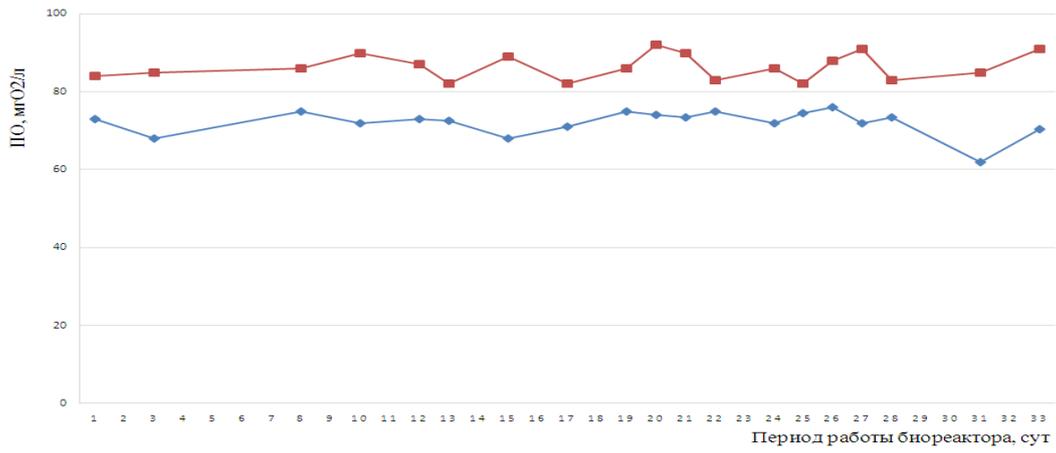


Рис. 3. Колебания значений перманганатной окисляемости очищенной воды в период работы биореакторов

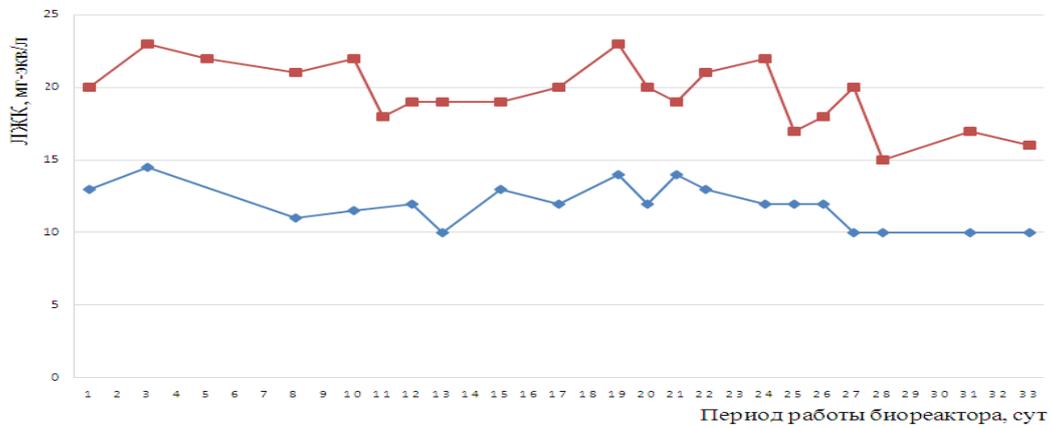


Рис. 4. Содержание ЛЖК в очищенной воде в период работы биореакторов

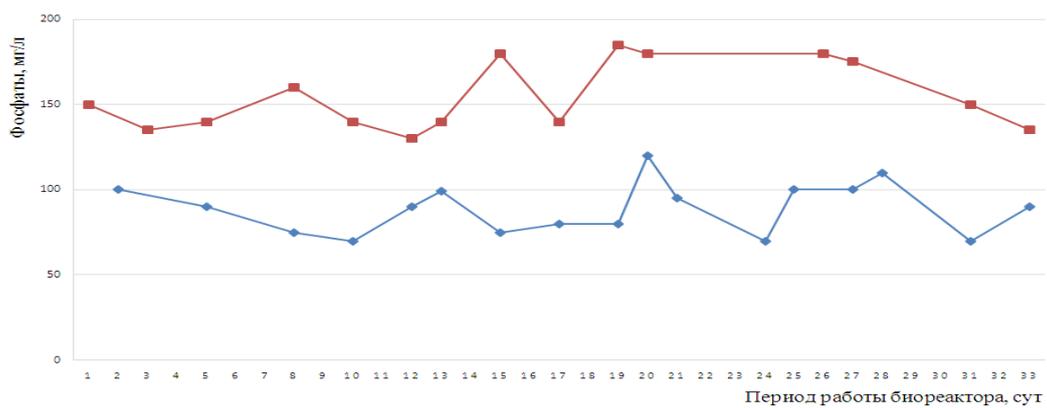


Рис. 5. Содержание фосфатов в очищенной воде в период работы биореакторов

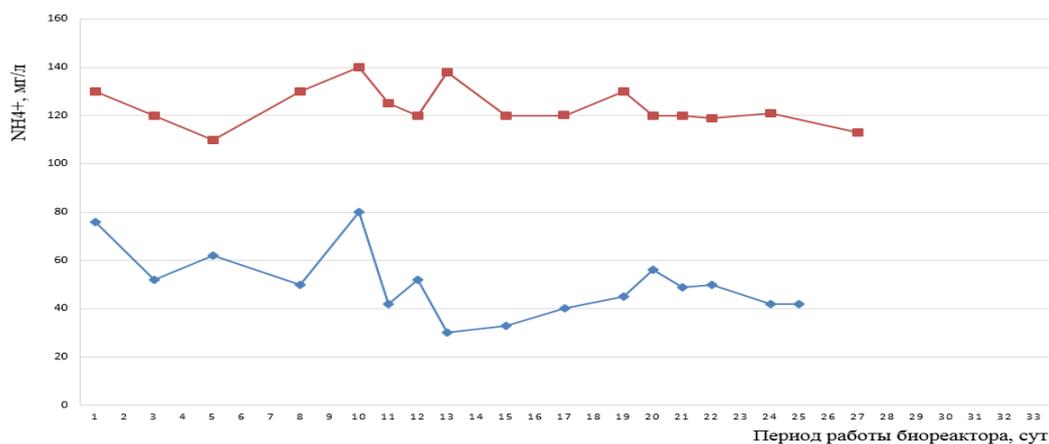


Рис. 6. Содержание азота аммонийных солей в очищенной воде в период работы биореакторов

Условные обозначения для рисунков 1–6:

- – биореактор комбинированного типа;
- ◆— – биореактор с плоскостной загрузкой.

Усредненные показатели, характеризующие процесс обработки сточных вод в анаэробных биореакторах различных типов, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Усредненные показатели очистки сточных вод**

Показатель качества сточной воды	Исходная сточная вода	Сточная вода после анаэробной обработки	
		Биореактор с плоскостной загрузкой	Биореактор комбинированного типа
Реакция среды pH, ед.	7,5	5,01	7,03
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), mV		-53,54	-77,08
Содержание летучих жирных кислот (ЛЖК), мг-экв/л	5,0	11,89	19,57
Содержание азота аммонийных солей, мг/л	30,0	50,06	123,5
Содержание фосфатов (по PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ), мг/л	8,0	89,05	154,66
Перманганатная окисляемость (ПО), мгO <sub>2</sub> /л	615,4	72,13	86,42
Эффективность очистки (по ПО), %		88,2	86,0

Таким образом, полученные экспериментальные данные показали:

- в биореакторе с плоскостной загрузкой процесс обработки воды происходит в кислотогенной фазе (рН обработанной воды составляет примерно 5 ед.), в то время как в биореакторе комбинированного типа процесс протекает в щелочной среде;
- ОВП для обоих биореакторов имеет отрица-

тельное значение, что говорит о преобладании восстановленных форм загрязняющих веществ;

- эффективность очистки от органических загрязнений (определяемых анализом перманганатной окисляемости) составляет 86–88 %. Причем эффективность работы биореактора с плоскостной загрузкой несколько выше. Это можно объяснить тем, что кислая среда биореактора способствует коагулированию белков

поступающего стока с последующим удерживанием их слоем ила;

- для биореакторов обоих типов характерно увеличение содержания в обработанной воде азота аммонийных солей и фосфатов. Причем в комбинированном биореакторе концентрация азота аммонийных солей возрастает на значительно большую величину. Это согласуется с отличиями по значениям pH, так как высвобождающийся на стадии ацидогенеза аммонийный азот обеспечивает высокую буферность очищенной сточной воды и надежно предохраняет от снижения pH в реакторе.

**Выводы.** Из двух исследованных типов биореакторов предпочтителен реактор комбинированного типа, так как pH обработанной воды соответствует требованиям к подаче воды на аэробную стадию, в то время как воду после реактора первого типа необходимо подщелачивать.

### Литература

1. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / *Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин* [и др.]; под общ. ред. *В.Н. Самохина*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981.
2. *Шустер К., Нойберт И.* Анаэробная обработка высококонцентрированных стоков молочных предприятий // *Экология произ-*
3. Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие: в 2 т. Т. 1 / *А.Е. Кузнецов* [и др.]. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 485 с.
4. *Данилович Д.А.* Интенсификация очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в анаэробных условиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. – URL: <http://diss.rsl.ru/diss/06/0431/060431013.pdf>.

### Literatura

1. Kanalizacija naselennyh mest i promyshlennyh predpriyatij / *N.I. Lihachev, I.I. Larin, S.A. Haskin* [i dr.]; pod obshh. red. *V.N. Samohina*. – 2-e izd., pererab.i dop. – M.: Strojizdat, 1981.
2. *Shuster K., Nojbert I.* Anajerobnaja obrabotka vysokokoncentrirovannyh stokov molochnyh predpriyatij // *Jekologija proizvodstva*. – 2009. – № 11. – S. 50–52
3. Prikladnaja jekobiotehnologija: ucheb. posobie: v 2 t. T. 1 / *A.E. Kuznecov* [i dr.]. – 2-e izd. – M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2012. – 485 s.
4. *Danilovich D.A.* Intensifikacija ochistki stochnyh vod predpriyatij molochnoj promyshlennosti v anajerobnyh uslovijah: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.04. – URL: <http://diss.rsl.ru/diss/06/0431/060431013.pdf>.

