

УДК 62-13

М.Ю. Нагибин, А.Ф. Сорокопуд**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА
РАСПЫЛИТЕЛЯ РОТОРНОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Разработано заборное устройство распылителя роторного распылительного аппарата, отличающееся улучшенными эксплуатационными характеристиками; исследованы основные технико-экономические показатели и условия его совместной работы со сливной тарелкой. Результаты исследований позволили установить условия устойчивой работы заборного устройства на сливной тарелке. Предложены рекомендации для расчета и проектирования.

Роторный распылительный аппарат, заборное устройство, сливная тарелка, производительность, энергозатраты.

Введение

На предприятиях пищевой промышленности при осуществлении многих технологических процессов например, при измельчении, а также при транспортировке порошкообразных пищевых продуктов выделяется большое количество трудно улавливаемой мелкодисперсной пыли, выброс которой обуславливает большую взрыво- и пожароопасность, снижает рентабельность производства, приводит к ухудшению условий труда, а также причиняет ущерб окружающей среде.

Решение вышеперечисленных проблем может состоять в создании и внедрении эффективных аппаратов, обеспечивающих максимальное улавливание пыли и надежность работы. В этой связи совершенствование пылегазоочистного оборудования с целью повышения его эффективности и экономичности представляется важной народнохозяйственной и научно-технической задачей, при этом заметная роль принадлежит аппаратам и системам мокрого пылеулавливания.

Среди аппаратов мокрой очистки газов предпочтение отдается аппаратам с низким гидравлическим сопротивлением, что уменьшает их эксплуатационные затраты. Одним из перспективных видов оборудования для этих целей являются роторные распылительные газопромыватели (РРГ) с циркуляцией и многократным диспергированием жидкости, созданные на основе роторных распылительных аппаратов (РРА) [1]. Эффективность очистки в РРГ во многом зависит от показателей работы его заборного устройства (ЗУ), которое совместно с диспергирующим устройством образует распылитель, создающий многократную циркуляцию и диспергирование рабочей жидкости в пределах контактного элемента и аппарата в целом, что обеспечивает создание эффективной и интенсивно обновляющейся поверхности контакта фаз при проведении процессов мокрой пылеочистки и абсорбционной очистки промышленных газов с низкой потенциальной энергией.

ЗУ распылителя РРГ состоит из двух коаксиальных цилиндров, между которыми установлены заборные лопатки. Проведенные ранее исследования [2–4] показали, что изменением геометрических параметров элементов ЗУ, а также подбором оптимальных условий работы можно добиться улучшения технико-экономических показателей работы как самого ЗУ, так и роторного аппарата в целом.

В свете вышесказанного становится понятно, что недостаточная изученность гидродинамики контактной ступени РРГ и несовершенство конструкции ЗУ распылителя не позволяют в полной мере реализовать достоинства РРГ на практике. Поэтому цель работы – разработка и исследование заборного устройства распылителя РРГ с улучшенными эксплуатационными характеристиками и выявление оптимальных условий работы ЗУ на сливной тарелке.

Объекты и методы исследований

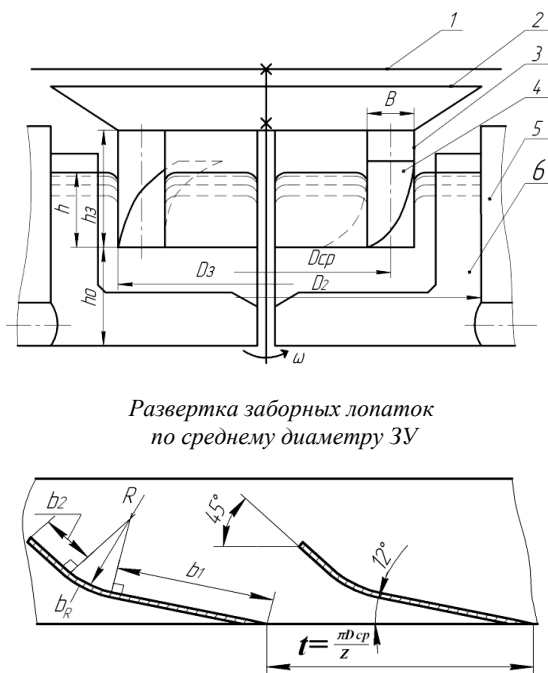
В качестве прототипа ЗУ была принята конструкция [5], но при этом были изменены соотношения длин верхних и нижних частей лопаток, в большей степени влияющих на эффективность работы ЗУ. Для выявления оптимальной конструкции ЗУ с измененным геометрическим профилем заборных лопаток их количество (Z) варьировалось в диапазоне $Z = 2 \dots 8$. ЗУ содержало лопатки разработанного профиля со следующими параметрами: $b/t = 0,5$, где b – длина лопатки ($b = b_1 + b_2 + b_R$), t – шаг установки лопаток по среднему диаметру ЗУ; отношение суммарной длины частей лопатки b к сумме длин нижней b_1 и средней b_R частей принято 1,6, а отношение суммарной длины b к длине верхней b_2 части лопатки принято 2,69...2,85; радиус дужки круга $R = 0,01$ м (см. рис. 1).

При этом с практической точки зрения важно знать, как ЗУ будет работать на сливной тарелке, параметры которой необходимо определить для обеспечения устойчивой работы и наименьших энергозатрат как самого ЗУ, так и всего аппарата. Основными конструктивными параметрами сливной та-

релки, влияющими на энергозатраты и производительность ЗУ, являются диаметр питающей чаши D_2 и расстояние от дна тарелки до нижнего торца ЗУ h_0 . Схема контактной ступени и развертка заборных лопаток по среднему диаметру ЗУ показаны на рис. 1.

Для выявления оптимальных значений вышеописанных параметров проведены исследования на «глухой» тарелке в диапазонах: $D_2 = (220...394) \cdot 10^{-3}$ м, $h_0 = (25...80) \cdot 10^{-3}$ м, при внешнем диаметре ЗУ $D_3 = (147...246) \cdot 10^{-3}$ м, ширине заборного канала $B = (20...60) \cdot 10^{-3}$ м, среднем диаметре ЗУ $D_{cp} = (127...176) \cdot 10^{-3}$ м, глубине погружения ЗУ в рабочую жидкость $h = (30...38) \cdot 10^{-3}$ м и частоте вращения ЗУ $\omega = 47,1...83,7$ с⁻¹. Высота h_3 при проведении экспериментов была постоянной и составляла $40 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве рабочей жидкости использована технически очищенная вода при температуре (20 ± 1) °С, при этом контроль температуры осуществлялся термометром ТЛ-2, установленным на выходе жидкости из рабочей емкости экспериментальной установки; глубина погружения ЗУ в слой рабочей жидкости определялась по наклонно установленной водомерной трубке диаметром 0,008 м. Частота вращения контролировалась при помощи электромеханического тахометра ТЭ-45, датчик которого был установлен непосредственно на приводном валу ЗУ.

Производительность ЗУ определялась по общепринятой методике – путем отбора части распыленной жидкости в ловушку. Эта методика основана на том известном факте, что факел распыленной жидкости, выбрасываемый вращающимся распылителем, обладает круговой и осевой симметрией по плотности потока, и поскольку исследования проведены на «глухой» тарелке, то количество рабочей жидкости, поступающей на нее, равно количеству жидкости, отводимому через ловушку.



Развертка заборных лопаток по среднему диаметру ЗУ

Рис. 1. Схема распылителя и сливной тарелки: 1 – отбойник; 2 – транспортный конус; 3 – заборное устройство;

4 – заборные лопатки; 5 – питающая чаша сливной тарелки; 6 – успокоительные перегородки

Для определения энергетических затрат при работе ЗУ измерялись полная мощность и мощность холостого хода, потребляемые электродвигателем переменного напряжения. Полезная мощность (N_n) т. е. мощность, расходуемая непосредственно на работу ЗУ, определялась как разность между полной мощностью и мощностью холостого хода и соответствовала условиям работы электродвигателя в номинальном или близком к нему режимам при работе ЗУ без транспортного конуса и отбойника. Затраты мощности измерялись ваттметром типа Д 5016 с классом точности 0,2, который подключался только на время измерений.

Исследование характеристик работы ЗУ было выполнено в два этапа, на первом определено влияние конструктивных параметров ЗУ на его основные технико-экономические показатели (производительность (Q), удельные энергозатраты ($N_{yo} = N_n/Q$)); на втором этапе исследована совместная работа ЗУ и сливной тарелки.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные, обработанные в виде зависимостей $Q = \psi(Z)$ и $N_{yo} = \psi(Z)$, представлены на рис. 2. Анализ показывает, что количество заборных лопаток, установленных между коаксиальными цилиндрами, оказывает большое влияние на такие технико-экономические показатели работы ЗУ, как производительность и удельные энергозатраты, при этом подбор рационального количества заборных лопаток позволит улучшить технико-экономические показатели ЗУ и, следовательно, распылителя в целом. Обработка результатов экспериментов показала, что конструкция ЗУ с двумя заборными лопатками являются нерациональными, поскольку две лопатки не могут эффективно поднимать большой объем жидкости, имеющийся в заборном канале при глубине погружения ЗУ в рабочую жидкость $h = (30...38) \cdot 10^{-3}$ м, в результате этого наблюдаются недостаточная производительность ЗУ и высокие удельные энергозатраты. С увеличением числа лопаток от 2 до 4 производительность ЗУ значительно возрастает, однако при увеличении числа лопаток от 4 до 8 производительность ЗУ плавно снижается, так как уменьшается длина верхней части каждой лопатки, в большей степени определяющая величину производительности и энергозатрат. По мере увеличения числа заборных лопаток от 2 до 4 существенно снижаются энергозатраты на организацию работы ЗУ, поскольку уменьшается гидравлическое сопротивление прохождению жидкости по каналу ЗУ. При увеличении числа лопаток от 4 до 8 энергозатраты снижаются при ширине заборного канала $B = 40 \cdot 10^{-3}$ м; при $B = 20 \cdot 10^{-3}$ м энергозатраты плавно возрастают, что объясняется увеличением трения между слоями рабочей жидкости и стенками узкого заборного канала ЗУ. Вышеописанные явления наблюдались на всех испытанных конструкциях ЗУ с различными D_{cp} и шириной заборного канала B при $\omega = 47,1...83,7$ с⁻¹.

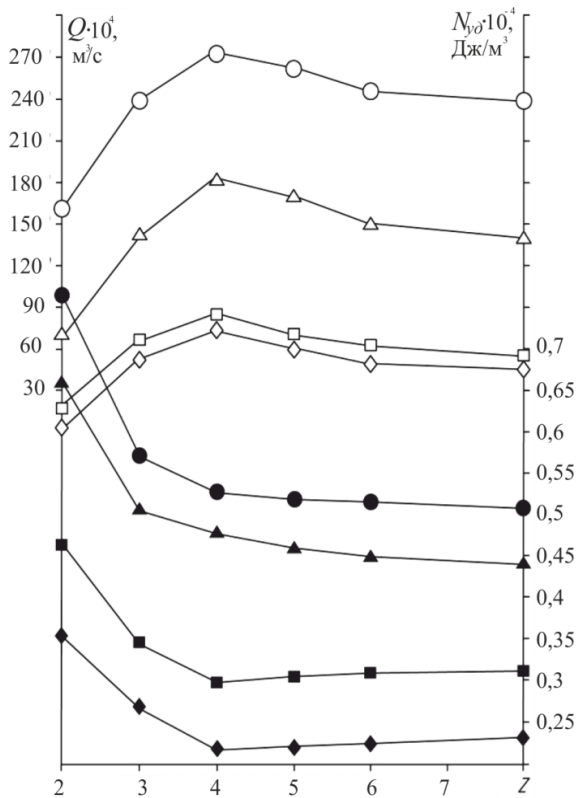


Рис. 2. Зависимость производительности и удельных энергозатрат от числа заборных лопаток ($\omega = 71 \text{ с}^{-1}$, $h_0 = 0,1 \text{ м}$, $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$): $\diamond, \square, \Delta, \circ$ – производительность; $\blacklozenge, \blacksquare, \blacktriangle, \bullet$ – энергозатраты; \blacklozenge, \diamond – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \blacksquare, \square – $D_{cp} = 176 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \blacktriangle, Δ – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \bullet, \circ – $D_{cp} = 157 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Таким образом, можно заметить, что ЗУ с четырьмя заборными лопатками обладает наибольшей производительностью при наименьших энергозатратах и является самой рациональной конструкцией ЗУ. Эта конструкция и была принята для дальнейших исследований, в рамках которых необходимо было выяснить условия совместной работы ЗУ на сливной тарелке РРА.

Экспериментальные данные в виде зависимостей $Q = \psi(D_2/D_3)$, $Q = \psi(h_0)$, $N_{y\partial} = \psi(D_2/D_3)$ и $N_{y\partial} = \psi(h_0)$ представлены на рис. 3 и 4.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 3, показывает, что производительность Q для ЗУ с различными D_{cp} и шириной заборного канала B возрастает, пока соотношение D_2/D_3 не достигнет величины 1,5...1,7, после чего наблюдается стабильный режим работы ЗУ с максимальной производительностью. Эти данные показывают, что каждому ЗУ соответствует определенное значение диаметра питающей чаши сливной тарелки D_2 , при котором производительность ЗУ достигает максимальной и стабильной величины. При этом диаметр D_2 не будет оказывать влияния на производительность ЗУ при соблюдении условия $D_2/D_3 \geq 1,5...1,7$. При расчете и конструировании сливной тарелки следует соблюдать условие $D_2/D_3 = 1,5...1,7$, что позволит добиться максимальной производительности при оптимальных габаритных размерах.

Из данных, представленных на рис. 3, следует, что энергозатраты на работу ЗУ зависят от диаметра пи-

тающей чаши сливной тарелки D_2 , при малых величинах этого параметра энергозатраты значительно выше, чем при работе того же ЗУ на тарелке с большим D_2 . Это явление можно объяснить тем, что при работе ЗУ на тарелке с малой величиной D_2 выше трение слоев рабочей жидкости о стенки ЗУ и сливной тарелки, что и создает гидравлическое сопротивление. Вышеописанное явление наблюдается при работе ЗУ с различными D_{cp} и шириной заборного канала B , а также при различных ω . При соблюдении условия $D_2/D_3 = 1,4...1,6$ работа ЗУ отличается наименьшими энергозатратами, что нужно учитывать при расчете и конструировании сливной тарелки РРА.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что при конструировании сливных тарелок РРА целесообразно задавать рациональные размеры диаметра D_2 , что позволит достичь максимальной производительности ЗУ при наименьших энергозатратах.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 4, показывает, что производительность Q для ЗУ с различными D_{cp} и шириной заборного канала B при выполнении условия $D_2/D_3 = 1,5...1,7$ увеличивается до $h_0 = (40...45) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, после чего наблюдается стабильный режим работы ЗУ с максимальной производительностью. Кроме того, для каждого ЗУ и окружной скорости вращения ротора существует определенное значение h_0 , по достижении которого производительность возрастает до наибольшего значения и в дальнейшем становится неизменной.

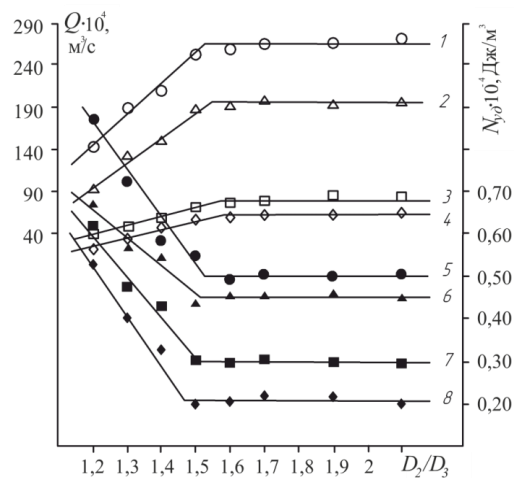


Рис. 3. Зависимость производительности и удельных энергозатрат от соотношения D_2/D_3 ($\omega = 71 \text{ с}^{-1}$, $h_0 = 0,1 \text{ м}$, $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$): 1, 2, 3, 4 – производительность; 5, 6, 7, 8 – энергозатраты; \blacklozenge, \diamond – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \blacksquare, \square – $D_{cp} = 176 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \blacktriangle, Δ – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \bullet, \circ – $D_{cp} = 157 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

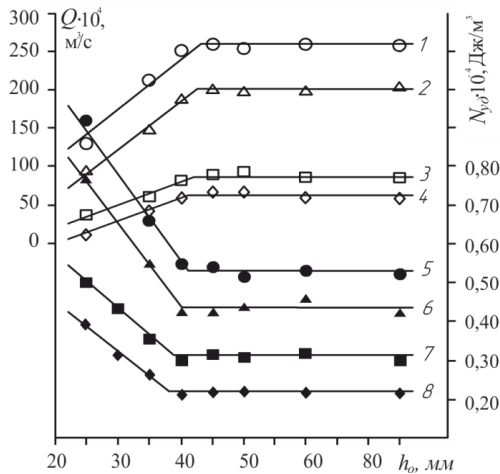


Рис. 4. Зависимость производительности и удельных энергозатрат от величины h_0 ($\omega = 71 \text{ с}^{-1}$, $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $D_2/D_3 = 1,7$): 1, 2, 3, 4 – производительность; 5, 6, 7, 8 – энергозатраты; \blacklozenge, \diamond – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \blacksquare, \square – $D_{cp} = 176 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\blacktriangle, \triangle$ – $D_{cp} = 127 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; \bullet, \circ – $D_{cp} = 157 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $B = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Удельные энергозатраты (рис. 4) имеют наибольшее значение при малых величинах параметра h_0 , что можно объяснить возникновением трения между слоями жидкости и дном питающей чаши сливной тарелки. По мере увеличения h_0 трение слоев жидкости уменьшается, что приводит к снижению энергозатрат. Величина энергозатрат уменьшается до $h_0 = (35 \dots 40) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, после чего становится неизменной. Стоит отметить, что на всех режимах работы ЗУ при соблюдении условия $D_2/D_3 = 1,5 \dots 1,7$ минимальные значения h_0 , при которых обеспечивается $Q = \text{const}$, несколько выше значений h_0 , при которых $N_{\text{уд}} = \text{const}$.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что для исследованного ЗУ диаметр питающей чаши сливной тарелки D_2 и расстояние h_0 оказывают существенное влияние на производительность и энергозатраты. Поэтому при конструировании сливных тарелок РРА целесообразно задавать рациональные значения параметров D_2 и h_0 , по достижении которых производительность станет максимальной, а

энергозатраты будут неизменными и минимальными. Глубина погружения ЗУ в рабочую жидкость на сливной тарелке h определяет величину подпирющего слоя жидкости, а следовательно, и запас потенциальной энергии; параметр h следует принимать исходя из прогнозируемой производительности, при этом, чтобы обеспечить устойчивую работу ЗУ, следует принимать параметр h таким, чтобы канал ЗУ был полностью заполнен.

Обработка результатов 230 опытов в программе Microsoft Excel позволила получить условие устойчивой работы ЗУ:

$$\frac{Q}{\omega \cdot \pi \cdot (D_2^2 - D_3^2) \cdot (h + h_0)} \leq K_{cp} \quad (1)$$

при соотношении $D_2/D_3 = 1,5 \dots 1,7$,

где K_{cp} – коэффициент устойчивой работы ЗУ ($K_{cp} = 14 \cdot 10^{-3}$).

Это условие является результатом анализа исследований рациональных соотношений параметров системы «Заборное устройство – сливная тарелка» и включает в себя параметры, характеризующие раскручивание жидкости в питающей чаше сливной тарелки – ω , D_2/D_3 ; параметры, характеризующие объем слоя жидкости на тарелке – $(h + h_0)$, D_2 , D_3 ; производительность ЗУ, характеризующую объемную скорость циркуляции рабочей жидкости на контактной ступени. Вышеописанные параметры при расчете РРГ промышленных размеров следует подбирать так, чтобы коэффициент устойчивой работы распылителя K_{cp} не превышал величины $14 \cdot 10^{-3}$, что будет гарантировать стабильную работу распылителя. Нарушение условия (1) приведет к неустойчивой работе распылителя, резким колебаниям глубины погружения h и производительности Q , что вызовет колебания кратности циркуляции и величины поверхности контакта фаз.

При этом важно учитывать, что система «Заборное устройство – сливная тарелка» будет устойчиво работать при выполнении условия $Q_{\text{см}} \geq Q_{\text{зр}}$.

Список литературы

1. Сорокопуд, А.Ф. Технично-экономические предпосылки выбора рационального пылеуловителя / А.Ф. Сорокопуд, Д.А. Максимов, М.И. Даниленко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 10. – С.64–66.
2. Сорокопуд, А.Ф., Влияние числа лопаток на технико-экономические показатели работы заборного устройства распылителя / А.Ф. Сорокопуд, М.Ю. Нагибин // Качество продукции, технологий и образования: сб. науч. работ / МиниТип. – Магнитогорск, 2011. – С. 38–40.
3. Сорокопуд, А.Ф. Исследование производительности и энергозатрат при работе заборного устройства распылителя / А.Ф. Сорокопуд, М.Ю. Нагибин // Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологий: сб. науч. работ / М.: НИИРРР, 2011. – С. 139–141.
4. Сорокопуд, А.Ф. Исследование эффективности работы заборного устройства распылителя / А.Ф. Сорокопуд, Д.В. Тарабрин // Совершенствование существующего и разработка нового оборудования для пищевой промышленности: сб. науч. работ / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Вып. 1. – Кемерово, 2006. – С. 21–23.
5. Пат. 2248237 Российская Федерация, МПК⁷ и В 01 D 3/30, и В 05 В 3/02/. Заборное устройство распылителя / Сорокопуд А.Ф., Тарабрин Д. В.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2003124742/15; заявл. 07.08.2003; опублик. 20.03.2005, Бюл. № 8. – 5 с.

650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

M.Y. Nagibin, A.F. Sorokopud

**DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF SPRAYER SUCTION DEVICE
FOR ROTOR SPRAY APPARATUS**

Designed is the sprayer suction device of rotary spray apparatus with improved performance. The main technical-economic characteristics and the conditions of its combined operation with the discharge plate are studied. The results of research allowed establishing the conditions for stable operation of suction device on the discharge plate. Recommendations for calculation and design are suggested.

Rotary sprayer, the suction device, the discharge, efficiency, power consumption.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

