

УДК 661.185.4, 661.187, 535.345.1, 536.331

**МОНОБЛОЧНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ РАСПЛАВЛЕНИЯ
СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ****А.Н. Черепанов^а**

^аСанкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, Leva0007@rambler.ru

Предложено использование моноблочных излучателей для расплавления синтетических жирных кислот, используемых в процессе производства синтетических моющих средств в жидкой фазе и поставляемых на заводы в твердом виде. В таких излучателях все лампы размещаются в общем корпусе. Облучение твердой фазы в направлении оси проплавления канала осуществляется через выходное кварцевое окно. Это исключает возможность замедления или остановки процесса при перегреве одной из ламп. В качестве источников светового излучения использованы галогенные лампы, каждая из которых помещена в индивидуальный прозрачный корпус. Комбинированное воздействие подвода тепловой мощности и светового излучения должно обеспечить значительное повышение скорости проплавления канала в твердой фазе синтетической жирной кислоты. Приведены результаты оценок достижимых скоростей проплавления канала в твердой фазе синтетических жирных кислот. При восьми галогенных лампах мощностью 100 Вт проплавление канала глубиной 1 м может быть достигнуто меньше чем за час. Для исключения возможности самовоспламенения жидкой фазы синтетической жирной кислоты предлагается осуществлять регулировку светимости излучателя и температуры его поверхности путем подбора количества ламп в полости моноблочного излучателя. При использовании в качестве корпуса моноблочного излучателя цилиндрической кварцевой трубы обеспечивается увеличение диаметра проплавления канала за счет бокового воздействия светового излучения на твердую и жидкую фазу.

Ключевые слова: расплавление химических продуктов; синтетические жирные кислоты, световое излучение, галогенные лампы.

MONOBLOCK EMITTERS FOR MELTING OF SYNTHETIC FATTY ACIDS**A.N. Cherepanov^a**

^a Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, Leva0007@rambler.ru

The paper deals with usage of monoblock emitters for melting of synthetic fatty acids, which are delivered to plants in a solid state and are used in the production of detergents as liquids. In such emitters all lamps are arranged in a common case. Irradiation of the solid phase in the direction of the channel melting axis is done through an output quartz window. This method excludes the possibility of slowing down or stopping the process when one of the tubes is overheated. Halogen lamps are used as light sources, each one is placed in individual transparent body. Combined effect of thermal power supply and the light emission should provide a significant increase in the rate of the channel melting in the solid phase of the synthetic fatty acid. The results of evaluations for achievable rates of the channel melting in the solid phase of the synthetic fatty acids are presented. Melting of the channel with one meter depth can be reached in less than an hour when eight halogen lamps of 100 W power are used. To exclude the possibility of self-ignition of the liquid phase of synthetic fatty acid it is proposed to adjust the luminosity of the emitter and the surface temperature by selecting the number of lamps in the monoblock emitter cavity. The usage of cylindrical quartz tube as a case for monoblock emitter increases the diameter of the melting channel due to side effects of light on the solid and liquid phases.

Keywords: melting of chemical agents, synthetic fatty acids, light emission, halogen lamps.

Введение

Важнейшими характеристиками технологического процесса перевода химических продуктов в жидкую фазу являются затраченная энергия и время [1–6]. В публикациях, посвященных этой проблеме, указывается, что даже небольшое увеличение скорости процесса расплавления оправдывает необходимые для этого затраченные усилия. Дополнительное воздействие световым облучением на твердую фазу синтетических жирных кислот (СЖК) позволило повысить скорости проплавления канала в объеме СЖК в 3 раза по сравнению со скоростью, обеспечиваемой контактным нагревателем [7]. Для проплавления канала использовался излучатель пучкового типа, составленный из галогенных ламп в индивидуальных корпусах [7].

Для обеспечения максимальной эффективности излучателя при расплавлении СЖК необходимо повышать светимость на его рабочих поверхностях при исключении перегрева расплавления СЖК выше допустимой температуры. Исходя из этого, температура поверхности излучателя не должна превышать температуры воспламенения СЖК, равной 120°C. Для этого необходимо проведение расчетов поверхностных плотностей световых и тепловых потоков, обеспечиваемых конструкцией излучателя, что является одной из задач, решаемых в настоящей работе.

Вторым важным условием является использование излучателя достаточно большого диаметра, при котором не только будет максимальным диаметр проплавления канала, но и ширина жидкой фазы будет существенно увеличиваться во времени по мере поступательного движения контактного нагревателя с насадкой в виде светового излучателя. Для решения такой задачи непригодны конструкции, в которых диаметр прозрачного футляра (кварцевой трубки) ограничен вследствие размещения в нем одной лампы.

Целью работы является проектирование принципиально нового типа конструкции компактного, надежного и безопасного в работе моноблочного излучателя (МИ), позволяющего уменьшить энергозатраты на расплавление жирных кислот. Эффективность предложенных решений подтверждена предложенными автором методиками расчетов излучаемых световых и тепловых потоков.

Варианты схем размещения ламп в моноблочном излучателе

Установка нескольких ламп в излучателе с одним выходным оптическим окном может осуществляться различными способами. В одном из вариантов лампы могут располагаться у выходного окна горизонтально; в другом варианте – вертикально, когда нижняя излучающая торцевая зона лампы обращена к выходному окну. В третьем варианте каждый источник излучения может иметь индивидуальный отражатель. При этом каждый излучатель может быть составным и содержать по две лампы в общем цилиндрическом корпусе из кварцевого стекла. Индивидуальные отражатели могут иметь и вертикальную компоновку.

Неизменной характерной особенностью МИ остается наличие одного выходного оптического окна, которое и служит общей излучающей поверхностью. Выбор конкретной схемы построения МИ определяется на основании светотехнических и тепловых расчетов.

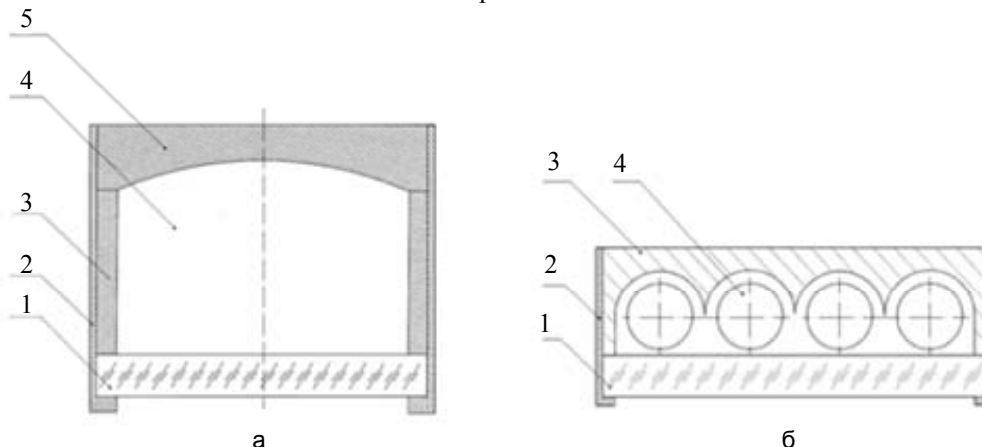


Рис. 1. Схема моноблочного излучателя: с размещением ламп в общем корпусе (а); с размещением ламп в общем корпусе с индивидуальными отражателями (б). 1 – кварцевая пластина; 2 – внешний корпус; 3 – внутренний корпус с отражающим покрытием на внутренней части; 4 – полость излучателя (а) или излучатель (б); 5 – крышка излучателя с отражающим покрытием на внутренней полости

В МИ галогенные лампы могут быть размещены достаточно близко друг к другу, что позволяет обеспечить максимально однородную светимость на рабочей поверхности излучателя – на выходном окне. Это создает условия для наиболее равномерного прогрева плавящегося вещества (СЖК) по сечению проплавляемого канала. Однако слишком плотная компоновка ламп приводит к недопустимо высокому перегреву ламп и поверхности выходного окна, а в конечном счете – к перегреву СЖК выше допустимой температуры (температура плавления составляет 50 °С, а температура воспламенения – 120 °С). Исходя из этого, помимо расчетов светимости необходим анализ теплового режима возможных конструктивных схем с галогенными лампами различных габаритов и потребляемой мощности.

Основными элементами конструкции многолампового МИ являются кварцевая пластинка, выполняющая функцию прозрачного окна, отделяющего источники излучения от расплавляемого вещества, а также герметичная полость с галогенными лампами. Герметичность внутренней полости должна обеспечиваться элементами несущей конструкции внешнего корпуса, верхней крышки и поджимающим кольцом (или внутренним корпусом). Для обеспечения герметичности могут использоваться прокладки и клей-герметик, выдерживающий требуемые температуры. Внутренний корпус и верхняя крышка одновременно должны выполнять функции отражателей, для чего их внутренние поверхности должны снабжаться покрытиями, обеспечивающими высокий коэффициент отражения для спектрального диапазона, соответствующего спектру излучения галогенных ламп.

Выходное окно должно достаточно равномерно прогреваться как в радиальном направлении, так и по толщине, т.е. обладать достаточно высокой теплопроводностью. Материал окна должен выдерживать тепловой удар при развивающихся в его объеме температурных напряжениях. Указанным свойствам в наилучшей степени удовлетворяет кварцевое стекло. Оно весьма прозрачно в спектре излучения галогенных ламп, его теплопроводность выше, чем у простых стекол, и составляет $\lambda = 1,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [8]. Термическая прочность кварцевого стекла определяется весьма низким коэффициентом линейного расширения, который составляет 10^{-7} К^{-1} , что на два порядка ниже, чем у силикатных стекол [8].

На рис. 2 представлена схема компоновки галогенных ламп в общем корпусе МИ. Принципиально во внутреннюю полость МИ диаметром 77 мм (такому диаметру соответствует внешний диаметр контактного нагревателя, для которого излучатель используется в качестве насадки) может быть установлено до 35 ламп номинальной мощностью 100 Вт. Однако столь плотная компоновка приводит, помимо большой суммарной потребляемой мощности, к весьма значительному перегреву ламп вследствие их взаимного теплового и светового воздействия. На рис. 2 представлен один из вариантов разреженной компоновки, в котором предусмотрено использование 11 ламп. При этом их общая тепловая и световая

мощность составляет 1,1 кВт. Такая компоновка позволяет размещать каждую лампу в индивидуальный прозрачный корпус (стеклянную или кварцевую цилиндрическую колбу), что существенно усредняет неравномерно распределенные тепловыделение и температуру по поверхности каждого излучателя. Это обеспечивает снижение взаимного теплового влияния отдельных излучателей друг на друга.

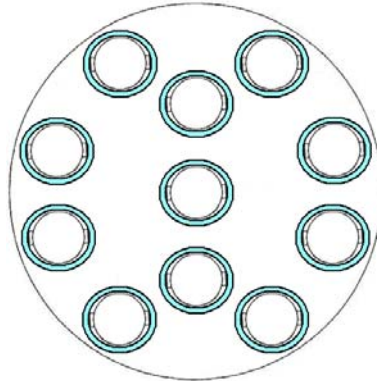


Рис. 2. Схема вертикальной компоновки галогенных ламп мощностью по 100 Вт в моноблочном излучателе с внутренним диаметром 77 мм

Удобство моноблочного излучателя определяется тем, что в процессе экспериментальных исследований можно подбирать оптимальное количество ламп, при этом заменяя их расположение. Критерием окончательного выбора компоновки является максимальная скорость проплавления канала при исключении перегрева конструкции МИ выше допустимых значений температур.

Для определения достижимых скоростей проплавления канала в СЖК с помощью такого МИ необходимо исследовать тепловые и световые характеристики применяемых ламп.

Достижимые скорости проплавления

Для расчетов скоростей расплавления СЖК можно использовать ранее полученные расчетные методики и результаты экспериментальных исследований тепловых и световых характеристик излучателей, а также характеристик пропускания и поглощения жидкой и твердой фаз СЖК [9–16]. При неравномерном по сечению распределении удельных потоков скорость плавления V [м/с] определяется минимальной плотностью потока в данном сечении, что позволяет записать ранее полученную в работах [11, 12] формулу для V в виде

$$V = \frac{\varepsilon q_0 + q_T}{U}, \quad U = U_w + U_m + U_f, \quad (1)$$

$$U_w = c_w \gamma_w (t_f - t_0); \quad U_m = \gamma_w Q_0; \quad U_f = c_f \gamma_f (t_k - t_f),$$

где ε – степень черноты твердой фазы СЖК; q_0 и q_T – поверхностные плотности соответственно световой и тепловой мощности на поверхности кварцевого окна; U – удельная энергия (на единицу объема), затрачиваемая на нагрев и расплавление твердой фазы и нагрев до конечной температуры t_k жидкой фазы; U_w – удельная энергия, затрачиваемая на нагрев твердой фазы до температуры плавления; U_m – удельная (на единицу объема) теплота фазового перехода; U_f – удельная энергия, затрачиваемая на дополнительный подогрев жидкой фазы (ниже температуры воспламенения); c_w и c_f – соответственно удельные теплоемкости твердой и жидкой фазы СЖК; γ_w и γ_f – плотности твердой и жидкой фазы; t_f – температура плавления СЖК; t_0 – начальная температура твердой фазы; t_k – конечная температура жидкой фазы; Q_0 – удельная скрытая теплота плавления. Допустимая плотность мощности теплового потока q_T определяется температурой t_S на поверхности окна:

$$q_T = \alpha_k (t_S - t_f), \quad (2)$$

где α_k – контактный коэффициент теплообмена между поверхностью кварцевого окна и расплавляемой СЖК. Ранее было определено, что световой КПД излучателя на основе галогенных ламп мощностью 100 Вт примерно равен 50%, а остальная потребляемая мощность преобразуется в тепловую [10].

Значения параметров, входящих в (1), равны [11–13]: $\varepsilon = 0,9$; $c_w = 1600$ Дж/(кг·К); $c_f = 3000$ Дж/(кг·К); $\gamma_w = 900$ кг/м³; $\gamma_f = 790$ кг/м³; $Q_0 = 147$ кДж/кг; $t_f = 50$ °С; $t_k = 90$ °С (с учетом необходимого запаса до температуры воспламенения). Примем $t_0 = 20$ °С.

При принятых значениях параметров получим (в МДж/м³): $U_w = 43,2$; $U_m = 32$; $U_f = 94,8$; $U = 270$.

Предельно достижимая скорость расплавления только за счет теплового воздействия определяется из формулы (2). Приняв $\alpha_k = 100$ Вт/(м²·К) [11, 12] и $t_S = 120$ °С, получим $q_T = 7$ кВт/м². В результате после подстановки в формулу (1) значений U и q_T , с учетом принятого значения ε , получим

$$V = V_0 \left(1 + 0,9 \frac{q_0}{q_T} \right); \quad V_0 = \frac{q_T}{U} = 0,026 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 1,56 \text{ мм/мин}, \quad (3)$$

где V_0 – скорость проплавления канала при воздействии на СЖК только теплового потока q_T , создаваемого контактным нагревателем. Из формулы (3) следует, что для проплавления в твердой фазе канала длиной 1 м потребуется примерно 11 ч. Для получения значительного выигрыша по скорости расплавления необходимо обеспечить условие $q_0/q_T > 2,22$. Тогда скорость процесса проплавления канала увеличится в 3 раза.

Существенное значение имеет диаметр проплавления канала. При использовании прозрачного корпуса, внутри которого вертикально расположены лампы (рис. 2), под воздействием светового излучения увеличивается диаметр канала, заполненный жидкой фазой. В качестве такого корпуса может использоваться кварцевая труба марки ТКВ или ТКУ.

При использовании моноблочного излучателя с прозрачным корпусом средняя по поверхности излучателя светимость, а также светимость выходного окна определяются из соотношений

$$q_{0\Sigma} = \frac{P_0}{S_T + S_B}; \quad q_0 = \frac{P_0}{S_T}; \quad S_T = 0,25\pi d^2; \quad S_B = \pi dL, \quad (4)$$

где P_0 – суммарная световая мощность всех ламп излучателя; S_T – площадь торцевой поверхности кварцевого окна; S_B – площадь боковой поверхности цилиндрического прозрачного корпуса; d – диаметр кварцевого окна; L – высота цилиндрического корпуса.

Примем для 11 ламп со световым КПД 50% $P_0 = 550$ Вт. При $d = 77 \cdot 10^{-3}$ м, $L = 0,1$ м получим из (4) $S_T = 4,65 \cdot 10^{-3}$ м², $S_B = 24 \cdot 10^{-3}$ м². В результате в осевом направлении светимость МИ, включающего 11 галогенных ламп, примерно равна $q_0 = 1,18 \cdot 10^5$ Вт/м² (здесь учтена светимость только в осевом направлении). Подставив в (3) это значение, а также $q_T = 7$ кВт/м², получим

$$V = 16V_0 = 2,5 \text{ см/мин.}$$

Отсюда следует, что для проплавления в твердой фазе СЖК канала глубиной 1 м потребуется 40 мин. При этом без всяких расчетов можно утверждать, что благодаря светимости боковой поверхности МИ проплавленный канал будет шире, чем при использовании контактного излучателя.

Для оценки перегрева излучателя можно использовать соотношение

$$\vartheta = \frac{P_T}{\alpha_k (S_T + S_B)}; \quad \vartheta = t_s - t_f, \quad (5)$$

где P_T – суммарное тепловыделение в галогенных лампах, при световом КПД 50% $P_T = P_0$.

Расчет по формуле (5) при всех принятых значениях параметров дает величину $\vartheta = 190$ К. При этом допустимая температура не должна превышать $t_m = 120^\circ\text{C}$ (что соответствует температуре воспламенения СЖК), а допустимый перегрев $\vartheta_m = 30$ К. Эти оценки дают максимальное значение перегрева, поскольку величина α_k принята для случая непосредственного контакта рабочей поверхности нагревателя с твердой фазой СЖК при его непрерывном поступательном движении с минимальным давлением на расплавляемую поверхность. При некотором замедлении поступательного движения контактного нагревателя с МИ в качестве насадки [7] между ним и твердой фазой образуется слой жидкой фазы, в котором развивается конвекция. При этом конвективный коэффициент теплоотдачи достигает 500 Вт/(м²·К) [9] и выше, что исключает возможность возникновения недопустимого перегрева. В этом случае $\vartheta = 38$ К, и для гарантированного обеспечения допустимой температуры СЖК необходимо снизить величину P_T за счет уменьшения количества излучателей на основе галогенных ламп в полости МИ до 8 штук. Тогда скорость плавления уменьшится на 30%, что позволит проплавить канал примерно за 52 мин (т.е. потребуются не более одного часа).

Энергозатраты (суммарная потребляемая электроэнергия) на питание восьмилампового излучателя равны

$$W = P_\Sigma \tau,$$

где $P_\Sigma = 800$ Вт – суммарная потребляемая лампами электрическая мощность; $\tau = 1$ ч – время работы моноблочного излучателя.

В результате $W = 0,8$ кВт·ч. В то же время для поддержания температуры контактного нагревателя на уровне 90°C необходимо поддерживать мощность тепловыделений на его поверхности 1,7 кВт в течение 11 ч. Это потребует затрат суммарной энергии 18,7 кВт·ч. Следовательно, энергозатраты на работу излучателя составляют около 4% от затрат энергии на контактный нагреватель.

Заключение

Предложено использование моноблочных излучателей, содержащих в общем прозрачном корпусе несколько галогенных ламп, для проплавления каналов в твердой фазе синтетической жирной кислоты как лимитирующего процесса расплавления в производстве синтетических моющих средств. Проведенные оценки показали возможность проплавления канала глубиной в 1 м в твердой фазе менее, чем за один час. Это на порядок меньше, чем при использовании контактного погружаемого нагревателя. Представленные формулы позволяют проводить оценки необходимого и достаточного числа ламп для эффективной работы моноблочного излучателя без превышения допустимой температуры, что необходимо для исключения воспламенения синтетической жирной кислоты.

Устройство моноблочного излучателя – достаточно простое и компактное. Энергозатраты на работу излучателя не превышают 0,8 кВт·ч. Конструкция моноблочного излучателя может легко настраиваться на оптимальный режим работы путем экспериментального подбора количества галогенных ламп. Поскольку моноблочный излучатель имеет определенные преимущества перед пучковой конструкцией (в которой галогенные лампы помещаются в индивидуальные корпуса), его можно рекомендовать для практического использования при расплавлении синтетических жирных кислот в крупногабаритных контейнерах.

References

1. Bukhshtab Z.I., Mel'nik A.P., Kovalev V.M. *Tekhnologiya sinteticheskikh moyushchikh sredstv* [Technology of synthetic detergents]. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1988, 320 p.
2. Burdo Yu.I., Palevskii L.V., Badeshchenkov S.V., Grishchenko E.N. Osobennosti protsessa nepreryvnogo dozirovaniya zhidkogo sul'fonola v proizvodstve SMS [Features of the process of continuous dosing of liquid sulphonol detergent production]. *Novoe v oblasti tekhnologii, apparaturnogo oformleniya i razrabotki sredstv avtomatizatsii i mekhanizatsii protsessov proizvodstva TBKh* [New technology, hardware design and development of automation and mechanization of processes of production of household products]. Moscow, Research Institute for Technical and Economic Research of the Chemical Industry Publ., 1990, pp. 23–28.
3. de Groot W.H., Adami I., Moretti G.F. *The manufacture of modern detergent powders*. Wassenaar, The Netherlands, Herman de Groot Academic Publisher, 1995, 199 p.
4. Woollatt E. *The manufacture of soaps, other detergents and glicerine*. Chichester, UK, E. Horwood Publ., 1985, 473 p.
5. *Handbook of Detergents. Pt F: Production*. Eds U. Zoller, P. Sosis. Boca Raton, USA, CRC Press, 2009, 593 p.
6. Berezhevskii M.I. *Khranenie i transportirovanie khimicheskikh produktov* [Storage and transportation of chemical products]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982, 256 p.
7. Cherepanov A.N. Energoberegayushchaya tekhnologiya rasplavleniya khimicheskikh veshchestv svetovym izlucheniem [Energy-saving technology of chemical agents melting by light radiation]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1 (89), pp. 50–54.
8. Voronkova E.M., Grechushnikov B.N., Distler G.N., Petrov I.P. *Opticheskie materialy dlya infrakrasnoi tekhniki* [Optical materials in infrared devices]. Moscow, Nauka Publ., 1965, 346 p.
9. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. Eksperimental'noe issledovanie vozmozhnostei rasplavleniya sinteticheskikh zhirnykh kislot metodom svetovogo oblucheniya [Experimental study opportunities melting synthetic fatty acids method of solar irradiation]. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2004, no. 6, pp. 46–58.
10. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. Energeticheskii balans v tekhnologicheskikh ustanovkakh dlya rasplavleniya sinteticheskikh zhirnykh kislot [Energy balance in technological installations for melting synthetic fatty acids]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2004, no. 10, pp. 34–41.
11. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. Metodika dlya inzhenernykh raschetov skorosti proplavleniya kanala v tverdoi faze sinteticheskikh zhirnykh kislot trubchatym kontaktnym nagrevatelem [Technique of engineering calculation speed penetration of the channel in the solid phase of synthetic fatty acids tubular contact heater]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2003, no. 8, pp. 40–44.
12. Cherepanov A.N., Volynkin V.M., Khankov S.I. A method for calculating the melting rate of chemical products belonging to the class of synthetic fatty acids by a combined light- and heat-emitting source. *Thermal Engineering*, 2003, vol. 50, no.7, pp. 571-577.
13. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. Issledovanie effektivnosti metodov rasplavleniya sinteticheskikh zhirnykh kislot, osnovannykh na ispol'zovanii istochnikov svetovogo izlucheniya [Study of efficiency of methods of melting synthetic fatty acids, based on the use of sources of light radiation]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2004, no. 1, pp. 18–21.
14. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. *Ustroystvo dlya nagrevaniya i plavleniya khimicheskikh produktov. Svidetel'stvo na poleznuyu model' no. 20909* [Device for heating and melting of chemical products. Certificate on useful model no.20909]. Filing no. 2001118373. Priority date: 04.07.2001. Publication date: 10.12.2001. Bull. no. 34. IPC 7 V 67 D 5/00, V 65 D 88/74.
15. Volynkin V.M., Khankov S.I., Cherepanov A.N. *Ustroystvo dlya plavleniya i nagrevaniya khimicheskikh produktov. Svidetel'stvo na poleznuyu model' no. 21195* [Device for melting and heating of chemical products. Certificate on useful model no. 21195]. Filing no. 2001118375. Priority date: 04.07.2001. Publication date: 27.12.2001. Bull. no. 36. IPC 7 V 67 D 5/00.
16. Cherepanov A.N., Khankov S.I. *Metody rascheta protsessov rasplavleniya organicheskogo khimicheskogo syr'ya s prosvetyayushcheysya zhidkoi fazoi* [Methods of calculation of processes of melting of organic chemical raw materials with the clarified liquid phase]. St. Petersburg, L.T. Tuchkov Scientific Technical Center, 2006, 230 p.

Черепанов Аркадий Николаевич

– кандидат технических наук, докторант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Россия, Санкт-Петербург, Leva0007@rambler.ru

Arkady N. Cherepanov

– PhD, doctoral candidate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, Leva0007@rambler.ru

Принято к печати 22.01.14

Accepted 22.01.14