

Анализ применения роторно-дисковых аппаратов в процессах переработки вторичных нефтепродуктов

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10064

Д.Е. Суханов
к.т.н., доцент¹
mahp@dfngtu.nnov.ru

А.В. Степыкин
к.т.н., доцент¹
mahp@dfngtu.nnov.ru

А.Е. Кузнецов
преподаватель¹
mahp@dfngtu.nnov.ru

В.М. Ульянов
д.т.н., профессор¹
mahp@dfngtu.nnov.ru

В.А. Диков
к.т.н., заведующий кафедрой ТОТС¹
mahp@dfngtu.nnov.ru

А.С. Новоселов
младший научный сотрудник²
a.novoselov@orgkhim.com

Е.С. Котлова
к.х.н., научный сотрудник²
e.kotlova@orgkhim.com

А.А. Щепалов
к.х.н., руководитель блока по развитию нефтехимии дирекции по развитию и маркетингу³
a.shchepalov@orgkhim.com

¹ДПИ НГТУ, Дзержинск, Россия

²НИИ Химии Нижегородского государственного университета, Нижний Новгород, Россия

³Управляющая компания «Биохимического холдинга «Оргхим», АО, Нижний Новгород, Россия

Изложены особенности расчета и подбора оборудования для стадии очистки производства неканцерогенных масел пластификаторов для шин, каучуков и пластиков. В результате проработки методики очистки, было выявлено, что проводить регенерацию масла по традиционным схемам в условиях наличия твердой фазы, диспергированной в жидкую, неэффективно. В связи с этим, в схему очистки был добавлен аппарат роторно-дискового типа. Показано, что процесс лимитирует кинетическая область, таким образом, решающим фактором будет время задержки частиц в секциях аппарата.

Переработка отходов производств и использование вторичных источников сырья является одним из ключевых направлений развития мировой промышленности. В данном направлении развиваются технологии, как в России, так и в Европейском Союзе, США, и многих других странах. Ключевым источником топлива и сырья является нефть и нефтепродукты [1]. Нефтеперерабатывающие производства всего мира имеют достаточно большое количество отходов, которое возможно переработать, в той или иной степени. Данное направление является актуальным и перспективным для исследований и производства.

При работе над проектом «Создание высокотехнологического производства неканцерогенных масел пластификаторов для шин, каучуков и пластиков на основе инновационной технологии переработки отходов нефтяной промышленности» (Договор № 02.G25.31.0165, этап № 3, п.3.1.5.1 «Разработка лабораторного технологического регламента метода очистки парафинового компонента с целью получения светлых масел-пластификаторов»), разработана технология получения светлых масел для пластических полимерных материалов марки АЛЬБУС WO150, АЛЬБУС WO-650. Данная технология построена на использовании отходов нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств [2, 3] в качестве сырья.

Одной из стадий очистки масел от ароматических соединений является адсорбция масел комплексом на основе хлористого алюминия (далее комплексом). При этом десорбция сопровождается химической реакцией комплекса с ароматическими соединениями в масле. В результате такого взаимодействия образуются сложные органические соединения, которые после разделения отправляются на переработку.

Проводились исследования по очистке масел методами однократного взаимодействия в емкостном аппарате, а также многократное периодическое взаимодействие компонентов. Все это не позволило достичь стабильных и приемлемых результатов по конечному содержанию ароматических соединений в продукте. Кроме этого реализация указанных методов является довольно трудоемкой задачей.

В связи с физическими свойствами твердого компонента (рыхлые мелкие частицы) наиболее перспективным видом оборудования может стать класс аппаратов с движущимся слоем твердого материала. Одним из таких аппаратов может стать роторно-дисковый аппарат, применяемый, как правило, при экстракции.

Данный аппарат обладает возможностью оптимизировать время пребывания частиц адсорбента в нем [4, 5]. До проведения экспериментальных исследований по извлечению целевых компонентов из масел в роторно-дисковом аппарате, получены предварительные результаты по моделированию гидродинамики течения потоков жидкости во внутренней полости устройства. Это позволило рассчитать первоначальные габариты лабораторного оборудования и выбрать режимные параметры для экспериментального исследования процесса очистки масел.

С учетом полученных данных, изготовлены роторно-дисковые аппараты, внутренними диаметрами 45 и 100 мм и частотой вращения диска от 50 до 300 об/мин. Расстояние между неподвижными тарелками соответствует их радиусу (рис. 1).

Камеры аппаратов выполнены из стекла, вал, приводящий в движение внутренние устройства, расположен вертикально. На вал установлены блоки из вращающихся дисков, а неподвижные диски связаны с корпусом.



Рис. 1 — Лабораторные аппараты, внутренним диаметром 45 (а) и 100 мм (б)
Fig. 1 — Laboratory devices with an inner diameter of 45 (a) and 100 mm (b)

Предложены зависимости и методика для теоретического и экспериментального анализа показателей работы аппарата. В результате проведенных исследований также были получены рекомендации, которые можно применить при эксплуатации и разработке технологического адсорбционного оборудования.

Материалы и методы

При проведении математического моделирования применялся численный метод (моделировании гидродинамических особенностей течения сред). Кроме этого проводились лабораторные испытания с целью очистки масел на аппарате роторно-дискового типа. При этом была разработана и смонтирована лабораторная установка, включающая соответствующий аппарат и устройства подачи.

Ключевые слова

роторно-дисковый, экстракция, адсорбция, светлые масла, очистка, контактор, гидродинамика, массообмен, извлечение

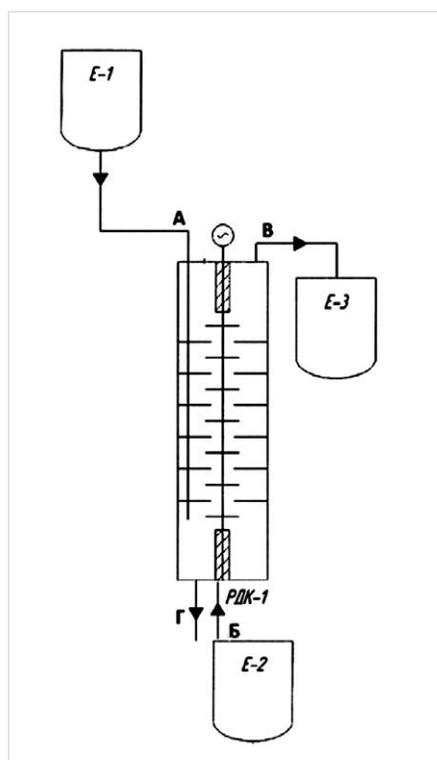


Рис. 2 — Схема очистки масла от ароматических соединений: РДК1 — роторно-дисковый аппарат; E1, 2, 3 — емкости с очищающим комплексом на основе хлористого алюминия; базовым маслом; с очищенным маслом; А, Г — потоки комплекса — чистого и на регенерацию; Б, В — потоки масла, загрязненного и очищенного
Fig. 2 — Scheme of oil purification from aromatic compounds

Блок дисков установлен между шпильками, закрепленными в соответствующих решетках. Вал через сальниковое уплотнение выводится и подключается к электроприводу.

Принципиальная схема установки для непрерывной очистки масла приведена на рис. 2

Аппарат работает следующим образом: в качестве основного адсорбента подается специальный четырехкомпонентный комплекс в верхнюю часть аппарата. Исходное масло подается в нижний штуцер и выводится из верхней части аппарата.

Согласно [6], существует ряд проблем теоретической оценки показателей работы аппарата, таких как относительные скорости течения фаз, время пребывания компонентов, коэффициент массопередачи. При этом для их определения используют, как численные методы моделирования [4], так и эмпирические зависимости. При текущем уровне развития техники достоверных универсальных расчетных алгоритмов, позволяющих произвести расчет роторно-дисковых аппаратов не найдено [5]. Это связано с тем, что такой аппарат с роторно-дисковыми контактными секциями имеет сложную структуру потоков. При процессах массопереноса в присутствии твердой фазы моделирование особенностей протекающих процессов адсорбции и гидродинамики движения фаз серьезно усложняется.

Для описания движения жидкости и твердых частиц в аппарате используют разные подходы. Наиболее полная модель отражена в работе [7], однако эта модель достаточно сложна и на практике применяют эмпирический подход к расчету скорости обтекания частиц потоком жидкости, движущейся в центробежном поле из-за перемешивающего устройства [6]:

$$u_{\text{обт}} = \sqrt{\frac{\pi \Delta \rho \cdot u_M^2 d_{\text{э}}}{6 \xi \cdot \rho d_M}}, \quad (1)$$

где $\Delta \rho$ — разность плотности фаз в аппарате, кг/м³; u_M — скорость, которую принимают по движущимся поверхностям, м/с; ξ — значение коэффициента сопротивления; $d_{\text{э}}$ — эквивалентный диаметр частиц, м; d_M — диаметр мешалки, м; ρ — плотность жидкости.

Проанализировав работу лабораторного аппарата, был сделан вывод, что можно сделать допущение и не учитывать прямое влияние вращающихся тарелок, так как скорость их вращения мала. Данный вариант движения рассматривает самый негативный случай, когда капли не задерживаются в полости аппарата вращающимися тарелками, что соответствует минимальному времени пребывания поглотителя в нем. Кроме этого, ввиду малой скорости движения самих потоков жидкости (менее 0,01 м/с), принимаем,

что частицы заключены в капли, которые гравитационно осаждаются в медленно движущемся вверх потоке масла. Путем ввода коэффициента, учитывающего задержку при движении капель, можно определить фиктивную скорость движения адсорбента, отнесенную ко всему сечению аппарата через критерий Рейнольдса, а также время пребывания частиц в аппарате.

$$V = \frac{Re \cdot v}{\rho \cdot d_{\text{э}}} \varphi'', \quad (2)$$

где φ'' — коэффициент, учитывающий задержку из-за работы тарелок; $d_{\text{э}}$ — средний расчетный диаметр одной частицы, м; ρ , v — плотность (кг/м³) и вязкость (Па·с) жидкости; Re — критерий Рейнольдса для жидкости. Критерий Рейнольдса определяется в зависимости от критерия Архимеда, например, по формуле В.М. Ульянова [8]:

$$Re = \frac{\sqrt{367 + k_{\phi} Ar \varepsilon^{4.75}} - \sqrt{367}}{0.588 k_{\phi}}, \quad (3)$$

где k_{ϕ} — коэффициент, учитывающий форму частиц Ar — критерий Архимеда, определяется согласно [8].

Для оценки качества работы контактора были проведены исследования по очистке масел при разных частотах вращения тарелок. В результате получены следующие экспериментальные данные (приведены в таблице). Нижняя граница частоты вращения двигателя — 150 об/мин. Это обусловлено отсутствием (при более низких частотах вращения) влияния на скорость потока вращающихся тарелок.

Основными показателями контроля, согласно таблице, являются качественные характеристики (физические свойства, коэффициент преломления, цвет), а также количественные — содержание сернистых соединений и ароматических фракций. Изменения показателей прослеживаются слабо в зависимости от частоты вращения и отклоняются в пределах 10 %.

Весь процесс извлечения ароматических соединений можно представить, как совокупность двух стадий — диффузионной и кинетической. Диффузионная стадия включает в себя перенос вещества от масла к поверхности капель, в каплях и у поверхности частиц. Скорость процесса при этом определяется внешней турбулизацией потока масла. Кинетическая стадия включает поверхностное химическое взаимодействие комплекса с ароматическими соединениями.

Полученные результаты говорят о том, что гидродинамическая обстановка в аппарате не влияет существенно на протекание

Таблица — Влияние скорости вращения ротора РДК на свойства масла
Table — The influence of the rotor speed of the RDK rotor on the properties of oil

пп	Наименование показателя	150 об/мин	200 об/мин	300 об/мин
1	Цвет по шкале Сейболт	+28	+30	+26
2	Вязкость кинематическая при 40°C, м2/с	14,6	14,5	14,8
3	Коэффициент преломления при 20°C	1,4718	1,4715	1,4724
4	Плотность при 15°C	0,866	0,867	0,871
5	Содержание сернистых соед., %	Отсутствие	Отсутствие	0,002
6	Типы углеводорода, %			
	- ароматические	6,7	6,5	6,9
	- парафино-нафтеновые	83,3	83,5	83,1

процесса очистки. Это связано с тем, что при взаимодействии комплекса и ароматических соединений протекает медленная химическая реакция, а сам процесс очистки происходит в кинетической области.

В связи с вышесказанным, использование зависимости, рассмотренной в [8], является оправданным при расчете данной системы. Это связано с тем, что при медленном движении фаз систему можно представить (с допущением) в виде осаждающихся капель поглотителя, включающих твердую фазу. Время пребывания частиц определяется по их задержке в объеме аппарата при заданной частоте вращения тарелок. Время пребывания определяется экспериментально по кривым отклика, аналогично [9, 10] или получаемому объему фильтрата твердых частиц.

Также при работе аппарата была установлена проблема существенной зависимости времени пребывания частиц в аппарате от качества поверхности тарелок. В результате появления коррозии, разрушения нанесенного на элементы покрытия (отсутствие гладкости) время пребывания существенно возрастает, и частицы начинают циркулировать длительное время в аппарате.

Таким образом, в результате проведенных исследований, предлагается применение зависимости (3) при расчете требуемой высоты аппарата. В результате анализа взаимодействия компонентов было установлено, что значительную роль играет внутренняя структура потоков аппарата, с точки зрения времени пребывания веществ в нем. Регулировать время пребывания частиц комплекса в объеме аппарата позволяют вращающиеся и неподвижные тарелки. Все это обеспечивает обновление поверхностей компонентов для протекания процесса извлечения и исключает неполноценную работу внутренних полостей аппарата. Лимитирующая стадия процесса при этом — кинетическая. Исходя из приведенных исследований частота вращения тарелок не должна превышать 200 об/мин для

лабораторного оборудования.

Для полного представления о структуре потоков в аппарате потребуется их дальнейшее изучение с использованием ЭВМ [4] или с использованием интегральных характеристик потока [9, 10].

Итоги

В результате анализа взаимодействия компонентов было установлено, что значительную роль играет внутренняя структура потоков аппарата, с точки зрения времени пребывания веществ в нем. Регулировать время пребывания частиц комплекса в объеме аппарата позволяют вращающиеся и неподвижные тарелки. Все это обеспечивает обновление поверхностей компонентов для протекания процесса извлечения и исключает неполноценную работу внутренних полостей аппарата. Лимитирующая стадия процесса при этом — кинетическая. Исходя из приведенных исследований частота вращения тарелок не должна превышать 200 об/мин для лабораторного оборудования.

Выводы

В результате выполненной работы:

1. Установлено, что аппарат роторно-дискового типа позволяет корректировать время пребывания частиц в аппарате, тем самым производить регулировку параметров процесса.
2. Выбрана методика расчета аппарата, проведен анализ его работы
3. Установлены особенности протекания процесса массопереноса (кинетическая область)

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, договор 02.G25.31.0165 от 01 декабря 2015 г. «Создание высокотехнологичного производства неканцерогенных масел-пластификаторов для шин, каучуков и пластиков на основе инновационной технологии глубокой переработки отходов нефтяной промышленности».

Литература

1. Горлов Е.Г., Шумовский А.В., Ясьян Ю.П. и др. Исследование процесса газификации смесей нефтяного и растительного сырья // Химия и технология топлив и масел. 2018. №5. С. 3–6.
2. Sáncheznogue V., Kruger J.S., Singer C.A. and oth. Integrated diesel production from lignocellulosic sugars: via oleaginous yeast. Green Chemistry, 2018, v. 20, issue 18, pp. 4349–4365.
3. Сосна М.Х., Голубева И.А., Кононенко А.А., Зайченко В.А. и др. Перспективы создания производства базовых масел на основе технологии в России // Химия и технология топлив и масел. 2018. №6. С. 52–56.
4. Щепалов А.А., Суханов Д.Е., Степыкин А.В. и др. Перспективы применения роторно-дисковых аппаратов для гетерогенных экстракционных процессов в нефтехимических и нефтеперерабатывающих производствах. Тамбов: Вестник ТГТУ. 2018. Т. 24. № 4. С. 642–651.
5. Камалиев Т.С. Кинетика массопереноса и эффективность смесительно-отстойных и тарельчатых аппаратов в процессах жидкостной экстракции. Казань, 2014. 198 с.
6. Лаптев А.Г. Модели переноса и эффективность жидкостной экстракции. Казань: КГУ, 2005. 229 с.
7. Grace J.R., Wairegi T., Nguyen T.H. Shapes and Velocities, of Single Drops and Bubbles Moving Freely Through Immiscible Liquids // Trans. Inst. Chem. Eng, 1976, vol. 54, issue 3, pp. 167–173.
8. Ульянов В.М., Сидягин А.А., Диков В.А. Технологические расчеты машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств. Примеры и задачи. Нижний Новгород: НГТУ, 2015. 633 с.
9. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Моделирование основных процессов химических производств. М.: Высшая школа, 1991. 400 с.
10. Голованчиков А.Б., Дулькина Н.А. Моделирование структуры потоков в химических реакторах. Волгоград: ВолгГТУ, 2009. 240 с.

The analysis of use of rotary-disk devices in the processing of secondary petroleum products

Authors

Dmitry E. Suhanov — Ph.D., docent¹; mahp@dfngtu.nnov.ru

Anton V. Stepykin — Ph.D., docent¹; mahp@dfngtu.nnov.ru

Alexander E. Kuznetsov — lecturer¹; mahp@dfngtu.nnov.ru

Vladimir M. Ulyanov — Sc.D., professor¹; mahp@dfngtu.nnov.ru

Vadim A. Dikov — Ph.D., head of department TETS¹; mahp@dfngtu.nnov.ru

Artem S. Novoselov — junior researcher²; a.novoselov@orgkhim.com

Elena S. Kotlova — Ph.D., researcher²; e.kotlova@orgkhim.com

Alexander A. Shepalov — Ph.D., head of petrochemical development unit, development and marketing directorate³; a.shchepalov@orgkhim.com

¹NSTU them. R.E. Alekseeva Dzerzhinsky Polytechnic Institute (branch), Dzerzhinsk, Russian Federation

²Research Institute of Chemistry of Nizhny Novgorod state University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

³Management company of "Biochemical holding "ORGKHM", JSC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

Features of calculation and selection of the equipment for a stage of cleaning for production of non-carcinogenic oils of plasticizers for tires, rubbers and plastics are stated. As a result of the study of the purification technique, it was found that it is inefficient to regenerate the oil according to traditional schemes in the presence of a solid phase dispersed into a liquid. In this

regard, a rotary-disk type device was added to the cleaning scheme. It is shown that the process limits the kinetic region, so the delay time of particles in the sections of the apparatus will be the decisive factor. The dependences and methods for theoretical and experimental analysis of the performance of the device are proposed. As a result of the research, recommendations were also obtained that can be applied

in the operation and development of technological adsorption equipment.

Materials and methods

The numerical method (modeling of hydrodynamic features of media flow) was used for mathematical modeling. In addition, laboratory tests were carried out for the purpose of cleaning oils on a rotary-disk type apparatus. At the same time the laboratory installation

including the corresponding device and devices of giving was developed and mounted.

Keywords

rotary disk, extraction, adsorption, light oils, purification, contactor, mixing cells, hydrodynamics, mass transfer, mass exchange

Results

As a result of the analysis of the interaction of the components, it was found that a significant role is played by the internal structure of

the flows of the apparatus, in terms of the residence time of substances in it. Rotating and stationary plates allow to regulate the residence time of the complex particles in the volume of the apparatus. All this ensures that the surfaces of the components are updated for the extraction process and eliminates defective operation of the internal cavities of the device. The limiting stage of the process is kinetic. Based on these studies, the rotation speed of the plates should not exceed 200 rpm for laboratory equipment.

Conclusions

As a result of this work performed:

1. It is established that the rotary-disk type apparatus allows to adjust the residence time of technological environments in the apparatus. It allows adjusting the process parameters.
2. The method of calculation of the apparatus is chosen. The analysis of its work is carried out
3. The peculiarities of the interactions process, namely, that it occurs in the kinetic region, are established.

References

1. Gorlov E.G., Shumovskiy A.V., Yas'yan Yu.P. and oth. Issledovanie protsessa gazifikatsii smesey neftyanogo i rastitel'nogo syr'ya [Study of the process of gasification of blends of petroleum and vegetable raw materials]. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2018, issue 5, pp. 3–6.
2. Sáncheznogué V., Kruger J.S., Singer C.A. and oth. Integrated diesel production from lignocellulosic sugars: via oleaginous yeast. Green Chemistry, 2018, v. 20, issue 18, pp. 4349–4365.
3. Sosna M.Kh., Golubeva I.A., Kononenko A.A., Zaychenko V.A. and oth. Perspektivy sozdaniya proizvodstva bazovykh masel na osnove tekhnologii v Rossii [Prospects of creation of production of base oils on the basis of technology in Russia]. Chemistry and technology of fuels and oils, 2018, issue 6, pp. 52–56.
4. Shchepalov A.A., Sukhanov D.E., Stepykin A.V. and oth. Perspektivy primeneniya rotorno-diskovykh apparatov dlya geterogennykh ekstraktsionnykh protsessov v neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstvakh [Prospects of application of the rotary-disk apparatus for heterogeneous extraction processes in the petrochemical and oil processing productions]. Tambov: TSTU Herald, 2018, vol. 24, issue 4, pp. 642–651.
5. Kamaliev T.S. Kinetika massoperenosa i effektivnost' smesitel'no-otstoynnykh i tarel'chatykh apparatov v protsessakh zhidkostnoy ekstraktsii [Kinetics of mass transfer and efficiency of mixing-settling and Poppet apparatus in liquid extraction processes]. Kazan, 2014, 198 p.
6. Laptev A.G. Modeli perenosa i effektivnost' zhidkostnoy ekstraktsii [Models of transfer and efficiency of liquid extraction]. Kazan: KSEU, 2005, 229 p.
7. Grace J.R., Wairegi T., Nguyen T.H. Shapes and Velocitiens, of Single Drops and Bubbles Moving Freely Through Immiscible Liquids // Trans. Inst. Chem. Eng, 1976, vol. 54, issue 3, pp. 167–173.
8. Ul'yanov V.M., Sidyagin A.A., Dikov V.A. Tekhnologicheskie raschety mashin i apparatov khimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv. Primery i zadachi [Technological calculations of machines and apparatus of chemical and oil refining industries. Examples and problems]. Nizhny Novgorod: NSTU, 2015, 633 p.
9. Kafarov V.V., Glebov M.B. Modelirovanie osnovnykh protsessov khimicheskikh proizvodstv [Modeling of basic processes of chemical production]. Moscow: Higher School, 1991, 400 p.
10. Golovanchikov A.B., Dul'kina N.A. Modelirovanie struktury potokov v khimicheskikh reaktorakh [Modeling of flow structure in chemical reactors: monograph]. Volgograd: VSTU, 2009, 240 p.

Системы измерительные ИГЛА предназначены для измерения уровня, температуры, плотности нефтепродуктов, уровня подтоварной воды, объема и массы нефтепродуктов

СИ ИГЛА обеспечивает оптимальный выбор решений как для небольших АЗС, так и измерения запасов нефтепродуктов для нефтебаз с десятками резервуаров.

Технологии СИ ИГЛА охватывают широкий диапазон использования емкостных уровнемеров от стационарных объектов (АЗС, НБ) до измерения массы нефтепродуктов на баках тепловозов, судов и емкостях бензовозов.

Конструкция датчика уровня не имеет движущихся частей (в уровнемерах нет поплавков), что делает ее очень надежной и позволяет не обслуживать датчик уровня при эксплуатации в обычных условиях. А емкостной принцип измерения делает уровнемеры СИ ИГЛА единственными уровнемерами, которые могут контролировать наличие расслоение топлива и определять грязь/ржавчину в топливе, в нижней части резервуаров.

Измерение уровня выполняется всегда от дна резервуара, т.к. уровнемеры СИ ИГЛА жестко стоят на дне резервуара и не связаны жестко с его крышей, что полностью соответствует методике измерений в Правилах эксплуатации резервуаров.

Датчики плотности СИ ИГЛА имеют компактный размер и единый диапазон измерения для светлых нефтепродуктов.

Аппаратура системы успешно работает в самых жестких условиях различных климатических регионов, в том числе на нефтебазе Чукотки (г. Певек, г. Анадырь), Якутии (г. Мирный), Ямале (г. Надым), южных регионах РК (г. Алматы, г. Шымкент).

СИ ИГЛА имеет сертификат соответствия ТР ТС 12/2011 и внесена в Государственный реестр средств измерений под №22495-12.

Измерительные Системы ИГЛА



Уровнемеры для нефтепродуктов

от производителя:
ООО «НПП «ИИТ»



+7(495) 592-44-31 +7(495) 592-44-30

- уровень НП
- уровень воды
- температура
- плотность
- расслоение
- объем
- масса НП



info@igla.info www.igla.info