

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 662.7: 662.6/.9

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ НАГРЕВАНИИ НЕФТИ И ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА ПАРАМИ БЕНЗИНА

О.Ю. Исмаилов, А.М. Хурмамаев, Д.Н. Исаматова

Проблема рационального и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших. С ростом энергетических мощностей и объема производства все более увеличиваются масса и габариты применяемых теплообменных аппаратов. На их эксплуатации расходуется огромное количество энергии. Повышение эффективности теплопередачи в этих аппаратах во многом зависит от рациональной организации в них гидродинамических режимов движения теплообменивающихся потоков. Горизонтальные трубы и трубчатые аппараты характеризуются тем, что в них можно организовать любые гидродинамические режимы движения потоков, отличающиеся различной интенсивностью гидромеханических, тепло- и массообменных процессов [1,2].

Нагревание нефтегазоконденсатных смесей с использованием тепла дистиллятных фракций (бензин) является технологической операцией, определяющей во многом тепловую эффективность первичной перегонки углеводородного сырья. Для осуществления этих процессов на нефтеперерабатывающих заводах используются трубчатые теплообменники [1], входящие в состав нефтеперегонных установок.

Для изучения процессов нагрева углеводородного сырья (нефти и газового конденсата) парами бензина и установления влияний режимных параметров процесса на эффективность теплопередачи в трубчатом теплообменном аппарате собрана экспериментальная установка (рис.1), состоящая в основном из парового испарителя, теплообменника типа «труба в трубе» и центробежного насоса [3].

В модельной установке изучен характер распределения температуры нагреваемой сырья, и греющего теплоносителя (паров бензина) по

длине труб опытного теплообменника. Опыты проводились при скоростях углеводородного сырья во внутренней трубе опытной установки от 0,2123 до 0,8492 м/с. Процесс был организован в противоточных направлениях движения теплообменивающихся потоков. Данный предел изменения скорости (расхода) сырья обеспечивает установление различных гидродинамических режимов его движения в теплообменной трубе аппарата [4, 5].

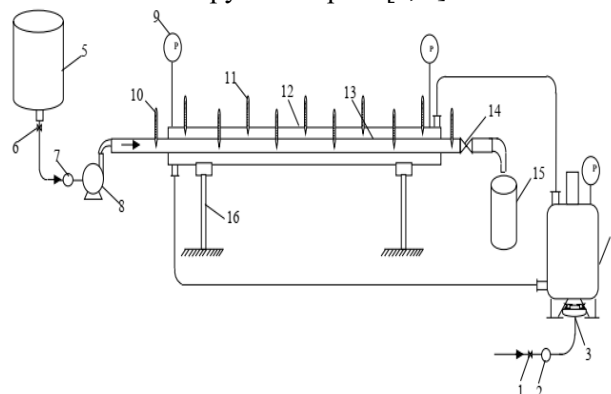


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1, 6 и 14 - винты; 2 - счетчик расхода природного газа; 3 - горелка газовая; 4 - парогенератор; 5 - емкость для нефти; 7 - счетчик расхода нефти; 8 - насос центробежный; 9 - манометры; 10 - термометры для нефти; 11 - термометры для греющего агента; 12 - наружная труба; 13 - внутренняя труба; 15 - мерная емкость для нагретой нефти; 16 - опорная стойка

Используя результаты экспериментов, определены основные физико-химические и теплофизические свойства сырья и теплоносителя, а затем вычислены значения коэффициентов теплоотдачи от теплоносителя к наружной поверхности стенки внутренней трубы аппарата α_1 и от внутренней стенки трубы к нагреваемому потоку сырья α_2 по длине аппарата L .

Таблица 1

Основные параметры теплоносителей [6]

Греющий агент	Давление P , кПа	Температура, t , °C	Скорость, ω , м/с	Плотность при температуре 20 °C, ρ , кг/м ³	Кинематическая вязкость при температуре 20 °C, ν , 10 ⁻⁶ м ² /с
Пары бензина	250	120	6,8	741	0,83
Газовый конденсат	100	20	0,2-0,8	853	6,65
Нефть	100	20	0,2-0,8	759	1,03

Критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи α_1 выбрано с учетом значения числа Рейнольдса Re [7]:

$$Re = v (D_{вн} - d_{нр}) \rho / \mu, \quad (1)$$

где $v = 4V/\pi(D_{вн}^2 - d_{нр}^2)$ - средняя скорость греющего теплоносителя (паров газового конденсата) в межтрубном пространстве аппарата, м/с; V - объемный расход теплоносителя, м³/с; $D_{вн}$ - внутренний диаметр кожуха аппарата, м; $d_{нр}$ - наружный диаметр внутренней трубы, м; ρ и μ - соответственно, плотность (кг/м³) и коэффициент динамической вязкости (Па·с) теплоносителя.

По значению Re установлен турбулентный режим движения паров газового конденсата в межтрубном пространстве опытного теплообменника. В данном случае критериальное уравнение для определения критерия Нуссельта имеет вид [8]:

$$Nu = 0023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \left(\frac{D_{вн}}{d_{нр}} \right)^{0.45}, \quad (2)$$

где $Pr = (C\mu)/\lambda$ - критерий Прандтля; C и λ - соответственно, удельная теплоемкость (кДж/кг) и коэффициент теплопроводности (Вт/м·К) теплоносителя.

По рассчитанному значению критерия Nu определен коэффициент теплоотдачи α_1 от греющего теплоносителя к наружной стенке теплообменной трубы [9]:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{экв}}, \quad (3)$$

где $d_{экв}$ - эквивалентный диаметр сечения межтрубного пространства аппарата, $d_{экв} = d_{вн} - d_{нр} = 0,025$ м;

Значения коэффициента теплоотдачи от стенки внутренней трубы аппарата к нагреваемой среде α_2 определяются в зависимости от режима движения потока в горизонтальной трубе.

Величина критерия Рейнольдса, определяющего режимов движения углеводородного сырья в горизонтальной трубе аппарата, определялась по известной формуле: где v_n - скорость исследуемой жидкости, м/с; ν_n - коэффициент кинематической вязкости жидкости, мм²/с.

Для расчета критерия Нуссельта при ламинарном режиме движения жидкости в горизонтальной трубе применено следующее критериальное уравнение [9]:

$$Nu_{жс} = 0,17 Re_{жс}^{0.33} Pr_{жс}^{0.43} Gr_{жс}^{0.1} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_t, \quad (4)$$

Приближенный расчет критерия $Nu_{жс}$ при вынужденном движении потока жидкости в трубе в переходном режиме производится по следующему уравнению [10]:

$$Nu_{жс} = 0,008 Re_{жс}^{0.9} Pr_{жс}^{0.43}. \quad (5)$$

Критериальное уравнение теплоотдачи для турбулентного режима движения нефти в двухтрубчатом аппарате имеет вид [11]:

$$Nu_{жс} = 0,021 Re_{жс}^{0.8} Pr_{жс}^{0.43} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{ст}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_t, \quad (6)$$

где $Nu_{жс} = d_{вн} \cdot \alpha_2 / \lambda$ - критерий Нуссельта, характеризующий подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком исследуемой жидкости; $Pr_{жс} = C \cdot v \cdot \rho / \lambda$ - критерий Прандтля при средней температуре потока жидкости; $Gr_{жс} = g \cdot d^3 / \nu^2$ - критерий Грасгофа при средней температуре потока жидкости; $Pr_{ст} = C \cdot v \cdot \rho / \lambda$ - критерий Прандтля при средней температуре стенки трубы; $\varepsilon_t = f(L/d)$ - коэффициент, учитывающий влияние размеров теплообменной трубы к росту коэффициента теплоотдачи α_2 .

Коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменной трубы к жидкости α_2 вычислен из следующего выражения [12]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_{жс} \cdot \lambda}{d_{вн}}. \quad (7)$$

Значение коэффициента теплопередачи K на 1 м длины опытного теплообменника определялось уравнением, изложенным в литературе [12,13]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_n} + \frac{1}{\alpha_2 r_g} + \frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{r_n}{r_g} + \frac{1}{r_{загн}} + \frac{1}{r_{загв}}}, \quad (8)$$

где r_n и r_g - наружный и внутренний радиус внутренней трубы, м; $r_{загн}$ и $r_{загв}$ - наружная и внутренняя тепловая проводимость загрязнения внутренней трубы, Вт/(м²·К).

Для определения количества переносимого тепла от теплоносителя к нагреваемой жидкости использовано основное уравнение теплопередачи [14]:

$$Q = KL\Delta t_{ср}, \quad (9)$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); $\Delta t_{ср}$ - средний температурный напор, °С; L - длина горизонтальной трубы, м.

Результаты исследований по определению степени влияния гидродинамических режимов на эффективность коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, при движении нефти и

газового конденсата в горизонтальной трубе

обобщены и представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Показатели эффективности нагревания нефти в горизонтальной трубе при различных гидродинамических режимах

Скорость углеводородного сырья, w , м/с	Начальная температура сырья t_n , °C	Конечная температура сырья t_k , °C	Критерий Рейнольдса Re	Коэффициент теплоотдачи α_1 Вт/м ² К	Коэффициент теплоотдачи α_2 Вт/м ² К	Коэффициент теплопередачи K Вт/м ² К
0,2123	20	97	1136	3790	272	238
0,4246	20	93	2021	3798	281	253
0,6369	20	87	2456	3790	291	261
0,8492	20	81	2623	3798	296	270

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что в ходе опытов режим движения нефти во внутренней трубе теплообменника с изменением скорости потока от 0,2123 до 0,8492 м/с, наблюдался ламинарный режим. При ламинарном режиме, вышеуказанном пределе скоростях коэффициент теплоотдачи α_1 от горячего теплоносителя к стенке трубы увеличивается от 3790 до 3798 Вт/м²К, а коэффициент теплоотдачи α_2 от стенки трубы с холодного теплоносителя (нефть) повышается от 238 до 270 Вт/м²К.

Коэффициент теплопередачи K повышается от 238 до 270 Вт/м²К.

Из данных таблицы 2 видно, что в опытах с газовым конденсатом режим его движения во внутренней трубе двухтрубчатого аппарата переходит от переходного режима (при 0,2123 м/с) к турбулентному (при 0,4246÷0,8492 м/с). При переходном режиме коэффициент теплоотдачи α_1 изменился в пределе 3335÷3241 Вт/м²К, а изменение коэффициента теплоотдачи α_2 в пределе 347÷647 Вт/м²К, Коэффициент теплопередачи K изменяется в пределе 314 ÷539 Вт/м²К.

Таблица 2

Показатели эффективности нагревания газового конденсата в горизонтальной трубе при различных гидродинамических режимах

Скорость углеводородного сырья, w , м/с	Начальная температура сырья t_n , °C	Конечная температура сырья t_k , °C	Критерий Рейнольдса Re	Коэффициент теплоотдачи α_1 Вт/м ² К	Коэффициент теплоотдачи α_2 Вт/м ² К	Коэффициент теплопередачи K Вт/м ² К
0,2123	20	100	6913	3335	347	314
0,4246	20	95	12894	3301	531	457
0,6369	20	91	16492	3246	587	472
0,8492	20	88	18657	3241	647	539

Влияния скорости потока нефти и газового конденсата на критерий Рейнольдса Re и коэффициента теплопередачи K в экспериментальной двухтрубчатом аппарате представлены в рисунках 2 и 3.

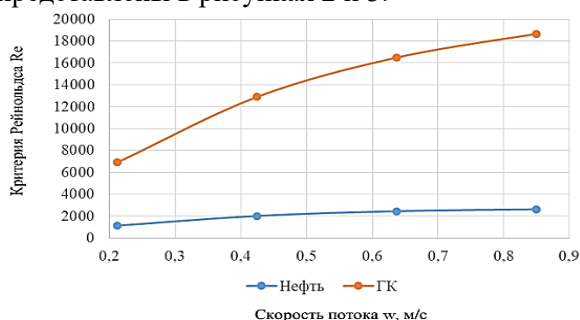


Рис. 2. Влияние скорости потока нефти и газового конденсата на изменение критерия Рейнольдса в горизонтальной трубе теплообменника

Из кривых изменения представленным из рис. 2 видно, что в пределе изменением скорости потока 0,2123÷0,8492 м/с при движении нефти в трубе число Рейнольдса наблюдалось от ламинарного $Re = 1136$ до переходного $Re = 2623$. При движении нефти в вышеуказанном пределе скорости потока в горизонтальной трубе критерий Рейнольдса плавно поднимается от 6913 до 18657 с повышением скорости потока. Как видим, увеличение скорости нефти в опытах не оказало существенного влияния к изменению число Рейнольдса за счет его высокой вязкости.

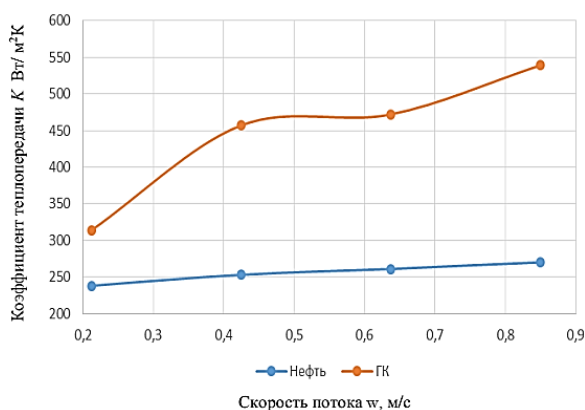


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопередачи от скорости потока нагреваемого сырья

Из данных приведенных на рисунке 3 видно, что в экспериментах по влиянию скорости потока нефти и газового конденсата на значения коэффициента теплопередачи K , наблюдается, что с повышением скорости потока нефти в горизонтальной теплообменной трубе в пределе $0,2123 \div 0,8489$ м/с коэффициент теплопередачи повышается 1,1 раза. Судя по виду кривых в процессе нагревании газового конденсата коэффициент теплопередачи повышается от 314 до 539 Вт/м²К. С изменением скорости газового

конденсата по трубам в $0,2123 \div 0,4246$ м/с, K увеличивается в 1,45 раза. Повышением скорости потока газового конденсата от 0,4246 до 0,6369 м/с темп повышения коэффициента теплопередачи замедляется и повышение показателя составляет от 457 до 472, т.е. в 1,03 раза. В дальнейшем, в максимальном пределах скорости $0,6369 \div 0,8492$ м/с повышение K составляет в 1,14 раза.

На основании проведенных исследований можно отметить, что гидродинамические режимы движения нефти и газового конденсата в горизонтальной трубе сильно влияют на эффективность теплообмена при их нагревании. В пределе скорости нефти в теплообменной трубе $0,2123 \div 0,8489$ м/с коэффициент теплопередачи повышается в 1,1 раза. При нагревании газового конденсата за счёт его турбулентного потока K повышается в 1,8 раза.

Таким образом, что при расчетах процессов нагревания углеводородного сырья желательно осуществлять их при турбулентном режиме, что позволит повышение эффективности тепловой подготовки углеводородного сырья к первичной перегонке.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глаголева О.Ф., Капустин В.М., Гюльмисарян Т.Г. и др. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти / Под ред. О.Ф. Глаголевой и В.М. Капустина. - М.: Химия, КолосС, 2006. - С. 314-318, 331-347.
2. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. - С. 566-576.
3. Исмаилов О.Ю., Худайбердиев А.А. Изучение процесса нагревания нефти углеводородными парами в опытном трубчатом теплообменнике// Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управления». 2012. – №5. – С. 23-27.
4. Исмаилов О.Ю., Худайбердиев А.А. Модельная трубчатая теплообменная установка для исследования гидродинамики и теплопередачи при нагревании нефти углеводородными парами// Сборник трудов республиканской научно-технической конференции. «Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана». – 8-9 ноября 2012 г. – Ташкент. – С. 227-230.
5. Исмаилов О.Ю., Худайбердиев А.А. Экспериментальная установка для изучения гидродинамики нагревания нефти парами углеводородного сырья// «Атроф - мухитни муҳофаза қилиш ва табиий ресурслардан оқилона фойдаланиш» мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани. – 24-25 май 2012 й. – Фарғона. 268-270 б.
6. Салимов З.С., Исмаилов О.Ю. Плотность и вязкость жидких углеводородов при температурах 20-98 °С.// Научно-технический журнал «Нефтепереработка и нефтехимия». Москва: 2014. – №1. – С. 18-22.
7. Исмаилов О.Ю. Определение эффективности процесса нагревания нефти в трубчатом теплообменнике// Научно-практическая конференция «Нефтегазопереработка – 2012». 21 мая 2012 г. – УФА, – С. 298-299.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 783 с.
9. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. в 2-х кн.: Часть 1. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
10. Захарова А.А., Бахшиева Л.Т., Кондауров Б.Д. др. Процессы и аппараты химической технологии/ Под редакцией проф. А.А. Захаровой. –М: Издательский центр «Академия», 2006. – 528 с.
11. Бударин В.А. Метод расчета движения жидкости. Монография: - Одесса: Астропринт, 2006. – 138 с.

термомеханик хоссаларини тахлили.....	98
S.A. Tursunbayev, N.D. To'raxodjayev, Sh.T. Toshmatova, F.U.Odilov. Germaniy oksidini alyuminiy qotishmalari qattiqligiga ta'siri.....	100
3. Разработка и технология получения композиционных материалов	
N.O. Maxkamova, B.G'. Maxkamov, A.X. Xaitbaev. Maxalliy xomashyo (Calliptamus Italicus.L) asosida biopolimer kompozitsion materiallar olish va ularning ayrim xossalari.....	103
Б.С. Садуллаев, Х. Ахмедов, Т.О. Камолов, О.Ф. Хайитов. Разработка технологии обогащения графитовой руды месторождения Тасказган.....	106
Х.А. Абдурахимов, А.Х. Абдурахимов. Разработка способа получения коагулянта из каолина ауминзатау и очистка им сильно окрашенных сточных вод бумажного производства.....	108
Б.К. Тилабов. Структура и свойства нитроцементованного слоя литой детали из углеродистой стали.....	113
Н.Х. Талипов, С.С. Негматов, М.М. Улугова. Регулирование процесса кристаллизации дигидрата сульфата кальция.....	117
D.G'. Kuvatov, S.M. Turabdjano. Sement klinkerini maydalash intensifikatorlari sintezi va tadqiqi.....	120
Т.О. Камолов, Қ.М. Рўзикулов. “Олмалик КМК” АЖ рух заводи вельцлаш цехининг хомаки вельц оксидини танлаб эритиш жараёнига тайёрлашга жараён вакти давомийлиги таъсирини ўрганиш.....	123
О.Ю. Исмаилов, А.М. Хурмаматов, Д.Н. Исаматова. Исследование коэффициента теплопередачи при нагревании нефти и газового конденсата парами бензина.....	127
Ж.Н. Негматов, М.Ш. Тухлиев, О.Х. Эшкobilов, Ш. Абдуганиев, А.Я. Раззаков, Б.И. Хотамкулов. Разработка технологии и технологической линии получения электро-теплопроводящих и антифрикционно-прочностных композиционных термореактивных полимерных материалов.....	131
М.Ш. Тухлиев, О.Х. Эшкobilов, Ж.Н. Негматов, Н.С. Абед, Ш. Абдуганиев, А.Я. Раззаков. Технология получения покрытий из электро-теплопроводящих антифрикционно- прочностных композиционных термореактивных полимерных материалов.....	135
М.Н. Цуканов, В.М. Капустин, Х.Ю. Рахимов. Разработка эффективных составов гидроизоляционных материалов из пиролизного дистиллята, битумной композиции и отходов производств.....	138
Sh.A. Sultonov, M.R. Amonov, X.M. Xolov. Sorbsion xossali kompozitli gil kukunlarini zamonoviy va samarali olish usuli.....	141
B.U. Zokirov, V.Z. Nurmukhamedova. A.Sh. Khusenov. Research on the technology of crystal fructose extraction from hellanthus tuberosus L.....	144
S.A. Tursunbayev, Sh.O'. Mardanoqulov, F.U. Odilov, Sh.T. Toshmatova. Alyuminiy-mis tizimidagi qotishma strukturasini germaniy ta'sirida o'zgarishi.....	147
B.R. Voxidov, Sh.Sh. Turdiyev. Platinoidlarni qayta ishlashdan hosil bo'lgan chiqindilaridan platina va palladiyni ajratib olish texnologiyasini tadqiq qilish.....	149
М.Н. Цуканов, В.М. Капустин, Х.Ю. Рахимов. Разработка технологии для получения композиционных гидроизоляционных материалов на основе местного сырья и отходов производств.....	155
Г.Э. Эшдавлатова, Н.Б. Турабаева. Целлюлоза эфирлари асосида куюклаштирувчилар ишлаб чиқиш.....	158
Р.Х. Сайдахмедов. Особенности получения твердосплавных пластин в вакуумной печи с изостатическим прессованием при технологической подготовки производства.....	160
С.А. Бердиев. Таркибида азот ва олтингургут бўлган олигомерларни термик барқарорлигини тадқиқ этиш.....	163
4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов	
У.К. Ёринов, И.Н. Мирзакулов, Д.Р. Атакузиева, Л.Қ. Махкамova, А.Х. Абдуқаххоров. Нефтни қайта ишлаш жараёнида қўлланиладиган антикоррозион қўндирмалар.....	166
А.Ю. Дустов, О.Х. Абдуллаев, М.А. Абдурахимов. Актуальность производства и потребления метанола на газодобывающих месторождениях.....	169
D.I. Maxkamov, A. Xabibullayev, A.E. Dehqanov. Avtomobil yo'llarini qurishda, kompozitsion materiallardan foydalanib, grunt qatlamini mustahkamligini oshirish.....	171
E.B. Abduraxmonov, M.X. Oydinov, F.G. Raxmatkariyeva, M.T. Abdullayeva. Mahalliy kaolin asosida olingan a tipidagi seolitning ik spektr tahlili.....	174
Sh.X. Chariyeva, M.K. Urozov. Pivo sanoati chiqindilaridan achitqi shtammlari olish.....	177
Ж.З. Шерматов, М.С. Пайзуллаханов, О.Т. Ражаматов. Керамические ферромагниты из плавленого материала в солнечной печи.	180
S.T. Parmonov. Burg'ulashda qo'llaniladigan qattiq qotishmalarning xomashyo materiallarini tanlash va ularning xossalari tadqiq qilish.....	182
O.Sh. Sarimsaqov, H.Q. Ismoilov, X.T.To'ychiyev. Ventilyator parragi ishchi yuzasi sifatiga va ish unumdorligiga kompozitsion qoplamaning ta'siri.....	185
Х.Қ. Исмоилов. Композицион материалдан тайёрланган парракнинг вентилятор қобиғида жойлашиш ҳолатининг иш унумдорлигига таъсири.....	188
D.I. Maxkamov, Q.M. Inoyatov, M. Axmadjanov, A.E. Dehqanov. Yo'l bitumi sifatini oshirishda sanoat chiqindilaridan foydalanish.....	191
Sh.A. Sultonov, M.R. Amonov, D.Q. Sayimova. O'simlik moylari uchun paligorskitli gil kukunlarini sorbsion xususiyatlari.....	193
З.Ш. Исламова, И.А. Набиева, А.А. Миратаев. Жун ва пахта толалари асосидаги янги композицияли тўқимачилик матоларини бўяш.....	196