

Профессор Г.В. Агафонов, аспирант А.В. Торшин,
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии бродильных и сахаристых производств.
тел. (473) 255-37-32
E-mail: avtor-89@mail.ru
профессор В.М. Перелыгин

Professor G.V. Agafonov, graduate student A.V. Torshin,
(Voronezh state university of engineering technologies) Department of Technology of fermentation
and sugar industries. phone (473) 255-37-32
E-mail: avtor-89@mail.ru
Professor V.M. Perelygin

Эффекты очистки спирта от примесей в эпюрационных колоннах

The effects of alcohol purification from impurities in depuration column

Реферат. В настоящее время к качеству этилового спирта предъявляются все большие требования. В задачу настоящего исследования входило изучение эффектов эпюрации спирта и разработка новых способов их расчёта на основе модели теоретической тарелки. В работе рассматривалась работа эпюрационной колонны при различных режимах. Были составлены уравнения материального баланса и по ним рассчитано распределение концентраций спирта по тарелкам колонны. Далее из них получены уравнения для оценки эффектов очистки этилового спирта от сопутствующих примесей. Проведённые расчёты показали, что при работе эпюрационной колонны по методу гидроселекции наблюдается значительное снижение концентрации этилового спирта на её тарелках. В результате увеличиваются коэффициенты испарения примесей, что существенно улучшает их вываривание и концентрирование. Однако при этом снижается крепость эпурата, что может ухудшить работу ректификационной колонны и привести к потерям с лютером. Поэтому был рассмотрен вариант с установкой отгонной части на эпюрационную колонну, благодаря чему повышается крепость эпурата и снижается содержание в нём органических кислот и других хвостовых примесей, которые отводятся с лютером из её куба. Записав уравнения материального баланса для отгонной части было определено, что потери спирта с кубовой жидкостью отсутствуют. С учетом некоторых допущений, из уравнений материального баланса получены уравнения для оценки доли хвостовых примесей, отводимой с лютером. Проведенные расчеты показали, что больше половины хвостовых примесей, поступающих в эпюрационную колонну с питанием, удаляются из её куба.

Summary. Currently to the quality of ethyl alcohol increased requirements. The task of this research was to examine the effects of alcohol depuration and development of new methods of calculation based on the model of theoretical plates. The paper examines the work depuration column at different modes. Were composed material balance equation and it is calculated concentration distribution of ethanol on the plates of the column. Further we obtained equations for estimating the effects of ethanol purification from the accompanying impurities. The carries out calculations have shown that when depuration column working with water selection method observed the significant decrease in the concentration of ethanol on her plates. As a result, increases the coefficient evaporation of impurities, which considerably improved it concentration. But it fortress of epurate reduced, which may degrade the performance of the distillation column and result in a loss with the bottoms liquid. It was therefore reviewed variant with the installation of the stripping part on depuration column, thereby increasing the concentration of ethanol in epurate and reduced the content in it of organic acids and other tail impurities that are discharged with liquid from her cube. Having recorded material balance equation for the stripping part, it was determined that are no losses of alcohol with cube liquid are. With some assumptions, from the equations of material balance are obtained the equations allowing estimating proportion of tail impurities withdrawn with cube liquid. The calculations have shown that more than half of the tail impurities incoming to the depuration column removed from her cube.

Ключевые слова: этиловый спирт, эпюрация, гидроселекция.

Keywords: ethyl alcohol, depuration, water selection

В задачу настоящего исследования входило изучение эффектов эпюрации спирта и разработка новых способов их расчёта на основе модели теоретической тарелки.

Пусть имеется эпюрационная колонна (ЭК), содержащая n и m теоретических тарелок

в её выварной и концентрационной частях. Колонна оборудована дефлегматором, конденсатором и кипятильником.

Запишем уравнение материального баланса этилового спирта или примеси для дефлегматора колонны, считая, что эффект его укрепляющего действия равен одной теоретической ступени конденсации пара:

$$g \cdot y_{n+m} = (g - F_D) \cdot x_D + F_D \cdot y_D , \quad (1)$$

где g – молевой поток пара в колонне; y_{n+m} – молевая доля этилового спирта или примеси в паре над $(n+m)$ -й тарелкой; F_D – молевой поток фракции, отбираемой из конденсатора; x_D , y_D – молевые доли этилового спирта или примеси соответственно в флегме и паре, поступающем из дефлегматора в конденсатор;

Составим теперь уравнения материального баланса этилового спирта или примеси для тарелок колонны с учётом уравнения (1). При этом счёт тарелок будем вести снизу вверх, помечая куб колонны индексом «0», а индексом «D» - её дефлегматор.

$$\begin{aligned} L_n \cdot x_1 &= g \cdot y_0 + L_0 \cdot x_0 \\ L_n \cdot x_2 &= g \cdot y_1 + L_0 \cdot x_0 \\ \dots & \\ \dots & \\ L_n \cdot x_n &= g \cdot y_{n-1} + L_0 \cdot x_0 \\ L_m \cdot x_{n+1} &= g \cdot y_n - F_D \cdot y_D \\ L_m \cdot x_{n+2} &= g \cdot y_{n+1} - F_D \cdot y_D \\ \dots & \\ \dots & \\ L_m \cdot x_{n+m} &= g \cdot y_{n+m-1} - F_D \cdot y_D , \end{aligned} \quad (2)$$

где L_n и L_m – молевые потоки жидкости соответственно в выварной и концентрационной частях колонны:

$$L_m = l + g - F_D , \quad (3)$$

где l – молевой поток гидроселекционной воды, подаваемый на верхнюю тарелку колонны;

$$L_n = L_m + L_c , \quad (4)$$

где L_c – молевой поток питания, подаваемого на n -ую тарелку;

$$L_0 = L_n - g , \quad (5)$$

Уравнение материального баланса спирта или примеси для всей эпюрационной колонны имеет вид:

$$L_c \cdot x_c = L_0 \cdot x_0 + F_D \cdot y_D , \quad (6)$$

где x_c – молевая доля этилового спирта в питании колонны.

Пусть число теоретических тарелок в выварной и концентрационной частях колонны составляет соответственно $n=12$ и $m=8$. В дальнейшем потоки жидкости и пара будем рассчитывать для брагоректификационной установки (БРУ), производящей этилового спирта 3000 дал/сутки, или 21,41543 кмоль/ч. Удельный расход пара на обогрев колонны примем равным 12 кг/дал или 83,2593 кмоль/ч. В расчётах примем, что выход этилового спирта для БРУ составляет 97 %, а его подача в эпюрационную колонну с фракцией сивушного спирта равна 5 %. Тогда питание эпюрационной колонны должно содержать этилового спирта в количестве: $L_c \cdot x_c = 23,12866$ кмоль/ч. Примем $x_c=0,1615$ молевых долей (39,66% об.), тогда $L_c=143,2115$ кмоль/ч.

Для указанных условий работы эпюрационной колонны проведены по уравнениям (1)-(6) расчёты распределения концентраций этилового спирта по её тарелкам. Расчёты осуществлялись общепринятым способом «от тарелки к тарелке» на основе данных В.Н. Стабникова и О.Г. Муравской [1] о фазовом равновесии жидкость-пар в системе этиловый спирта-вода.

Полученные результаты приведены в таблице 1, из которой видно, что с увеличением расхода гидроселекционной воды наблюдается значительное снижение концентрации этилового спирта на тарелках эпюрационной колонны. При этом на большинстве тарелок её выварной части концентрация этилового спирта постоянна. Исключение составляют только куб и первая тарелка колонны, где наблюдается значительное понижение концентраций этилового спирта. В отсутствие подачи гидроселекционной воды концентрация этилового спирта на тарелках концентрационной части резко увеличивается при движении снизу вверх по высоте колонны, тогда как при подаче на верхнюю тарелку гидроселекционной воды концентрация спирта на тарелках её концентрационной части постоянна, а при $l=222,0249$ кмоль/ч эта концентрация меньше, чем в выварной части колонны.

Таблица 1

Распределение концентраций этилового спирта по тарелкам ЭК при $n=12$, $m=8$, $g=83,2593$ кмоль/ч, расходе гидроселекционной воды 1 кмоль/ч и отборе фракции из конденсатора $F_D \cdot y_D$ кмоль/ч

№, № теоретических тарелок	l=0			l=27,7531			l=111,0124			l=222,0249		
	FD·yD= 0,32123	FD·yD= 0,64246	FD·yD= 1,92739	FD·yD= 0,32123	FD·yD= 0,64246	FD·yD= 1,92739	FD·yD= 0,32123	FD·yD= 0,64246	FD·yD= 1,92739	FD·yD= 0,32123	FD·yD= 0,64246	FD·yD= 1,92739
D	0,8433	0,8426	0,8361	0,6383	0,6373	0,6334	0,5418	0,5404	0,5352	0,4790	0,4766	0,4664
20	0,8356	0,8349	0,8292	0,4781	0,4767	0,4711	0,2314	0,2301	0,2247	0,1301	0,1289	0,1238
19	0,8267	0,8259	0,8204	0,4781	0,4766	0,4710	0,2314	0,2301	0,2247	0,1301	0,1289	0,1238
18	0,8257	0,8148	0,8090	0,4780	0,4765	0,4709	0,2314	0,2301	0,2247	0,1301	0,1289	0,1238
17	0,8006	0,7995	0,7937	0,4777	0,4762	0,4707	0,2314	0,2301	0,2247	0,1301	0,1289	0,1238
16	0,7789	0,7777	0,7713	0,4767	0,4753	0,4697	0,2314	0,2301	0,2247	0,1302	0,1290	0,1239
15	0,7436	0,7423	0,7352	0,4734	0,4719	0,4662	0,2312	0,2299	0,2245	0,1304	0,1292	0,1243
14	0,6839	0,6823	0,6744	0,4616	0,4601	0,4542	0,2302	0,2288	0,2235	0,1311	0,1299	0,1253
13	0,5768	0,5751	0,5676	0,4193	0,4178	0,4116	0,2248	0,2234	0,2184	0,1333	0,1323	0,1284
12	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
11	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
10	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
9	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
8	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
7	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
6	0,3137	0,3127	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1417	0,1390
5	0,3137	0,3126	0,3083	0,2738	0,2729	0,2692	0,1979	0,1971	0,1940	0,1423	0,1416	0,1390
4	0,3137	0,3126	0,3082	0,2738	0,2728	0,2691	0,1978	0,1970	0,1939	0,1422	0,1415	0,1388
3	0,3131	0,3121	0,3076	0,2733	0,2724	0,2686	0,1974	0,1966	0,1935	0,1415	0,1408	0,1380
2	0,3095	0,3084	0,3037	0,2703	0,2693	0,2653	0,1943	0,1935	0,1900	0,1372	0,1364	0,1331
1	0,2869	0,2855	0,2795	0,2487	0,2473	0,2416	0,1711	0,1699	0,1649	0,1179	0,1169	0,1130
0	0,1597	0,1519	0,1503	0,1338	0,1327	0,1260	0,0899	0,0888	0,0844	0,0625	0,0617	0,0525

Для оценки эффекта вываривания примесей в эпюрационной колонне из уравнений системы (2) получено:

$$\sigma_n = \frac{x_n}{x_0} = \alpha^{n-2} \cdot \sigma_2 + \frac{(L_n - g) \cdot (\alpha^{n-2} - 1)}{L_n \cdot (\alpha - 1)}, \quad (7)$$

где $\sigma_2 = \frac{g \cdot K_1}{L_n} \cdot \sigma_1 + \frac{L_n - g}{L_n}, \quad (8)$

$$\sigma_1 = \frac{g \cdot K_0}{L_n} + \frac{L_n - g}{L_n}, \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{g \cdot K_n}{L_n}, \quad (10)$$

$$K_2 = K_3 = K_4 = \dots = K_n \quad (11)$$

При выводе уравнения (7) принято, что коэффициенты испарения изученных примесей для тарелок со 2-й по n-ую включительно

$$\sigma_m = \frac{x_{n+m}}{x_n} = \frac{\beta_{n+m} \cdot \beta_{n+m-1} \cdot \dots \cdot \beta_{n+1}}{1 + \frac{F_D}{L_m} \cdot (1 + \beta_{n+m} + \beta_{n+m} \cdot \beta_{n+m-1} + \dots + \beta_{n+m} \cdot \beta_{n+m-1} \cdot \dots \cdot \beta_{n+1})}, \quad (13)$$

где $\beta_i = \frac{g \cdot K_i}{L_m}.$

Как следует из данных таблицы 1, при работе эпюрационной колонны по методу гидроселекции концентрация спирта на тарелках её концентрационной части практически одинакова, в связи с чем можно допустить:

$$K_{n+1} = K_{n+2} = \dots = K_m = const \quad (14)$$

В этом случае уравнение (13) преобразуется к виду:

$$\sigma_m = \frac{x_{n+m}}{x_n} = \frac{\beta_m^m}{1 + \frac{F_D}{L_m} \cdot \frac{\beta_m^{m+1} - 1}{\beta_m - 1}}, \quad (15)$$

где $\beta_m = \frac{g \cdot K_m}{L_m}.$

С использованием соотношения (6) запишем уравнение для расчёта доли примеси α , отбираемой с фракцией F_D из конденсатора эпюрационной колонны:

$$\alpha = \frac{F_D \cdot y_D}{F_D \cdot y_D + L_0 \cdot x_0} = \frac{F_D \cdot \frac{y_D}{x_0}}{F_D \cdot \frac{y_D}{x_0} + L_0} \quad (16)$$

Поскольку $\sigma_D \cdot \sigma_m \cdot \sigma_n = \frac{y_D}{x_0}$, перепишем уравнение (16) в виде:

имеют постоянное значение K_n , поскольку по данным таблицы 1 концентрация этилового спирта на указанных тарелках одинакова.

Для расчёта степени концентрирования примесей $\sigma_m = \frac{x_{n+m}}{x_n}$ на тарелках концентрационной эпюрационной колонны и в её дефлегматоре σ_D получено из уравнений (1) и (2):

$$\sigma_D = \frac{y_D}{x_{n+m}} = \frac{K_D \cdot K_{n+m} \cdot (V+1)}{K_D + V}, \quad (12)$$

где $V = \frac{g - F_D}{F_D}$ – флегмовое число эпюрационной колонны; K_D и K_{n+m} – коэффициенты испарения примеси для дефлегматора и (n+m)-й тарелки.

$$\alpha = \frac{F_D \cdot \sigma_D \cdot \sigma_m \cdot \sigma_n}{F_D \cdot \sigma_D \cdot \sigma_m \cdot \sigma_n + L_0} \quad (17)$$

Расчёты значений α по уравнениям (7), (12), (13), (15), (17) проведены для ряда примесей этилового спирта с использованием данных [2] об их коэффициентах испарения. Результаты вычислений приведены в таблице 2, из которой следует, что увеличение расхода гидроселекционной воды улучшает очистку этилового спирта от компонентов сивушного масла и других трудновыделяемых примесей. При этом однако имеет место снижение концентрации спирта в эпюрате. Так, например, при $l = 222,0249$ кмоль/ч (4000 кг/ч) молевая доля этилового спирта в эпюрате составляет 0,0585 молевых долей (16,97 % об.), что может осложнить работу ректификационной колонны и повлечь потери спирта с лютером из её куба. Для повышения содержания спирта в эпюрате в работах [3, 4] предложено дооснащать эпюрационную колонну отгонной частью и осуществлять боковой отбор эпюрата, что обеспечивает увеличение концентрации этилового спирта в нём и снижение содержания органических кислот и других хвостовых примесей, которые выводятся с лютером из куба эпюрационной колонны.

Таблица 2

Доли примесей α , отбираемых с фракцией из конденсатора ЭК, при $n=12$, $m=8$, $g=83,2593$ кмоль/ч,
расходе гидроселекционной воды l кмоль/ч и отборе фракции из конденсатора $F_D \cdot y_D$ кмоль/ч этилового спирта

Примеси этилового спирта	Доля примеси α в фракции из конденсатора ЭК, %											
	$l=0$			$l=27,7531$			$l=111,0124$			$l=222,0249$		
	$FD \cdot y_D =$ 0,32123	$FD \cdot y_D =$ 0,64246	$FD \cdot y_D =$ 1,92739	$FD \cdot y_D =$ 0,32123	$FD \cdot y_D =$ 0,64246	$FD \cdot y_D =$ 1,92739	$FD \cdot y_D =$ 0,32123	$FD \cdot y_D =$ 0,64246	$FD \cdot y_D =$ 1,92739	$FD \cdot y_D =$ 0,32123	$FD \cdot y_D =$ 0,64246	$FD \cdot y_D =$ 1,92739
Ацетальдегид	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Метилацетат	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Н. масл. альдегид	99,95	99,95	99,97	99,96	99,96	99,97	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Этилацетат	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Метанол	38,92	45,32	58,70	22,26	33,00	45,15	2,01	4,03	10,15	0,421	0,929	2,39
Кротон. альдегид	5,44	16,60	38,19	15,89	28,69	52,35	38,23	37,13	71,05	96,78	97,64	98,84
Пропанол-1	$3,66 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$5,14 \cdot 10^{-3}$	$9,80 \cdot 10^{-3}$	$2,13 \cdot 10^{-2}$	$7,82 \cdot 10^{-2}$	0,768	1,60	7,04	5,42	9,97	26,35
Пропанол-2	5,50	11,90	31,40	15,56	24,74	46,85	35,06	47,82	64,51	51,03	59,31	74,45
Изобутиловый спирт	$2,80 \cdot 10^{-5}$	$6,77 \cdot 10^{-5}$	$2,82 \cdot 10^{-4}$	$3,75 \cdot 10^{-4}$	$9,31 \cdot 10^{-4}$	$2,49 \cdot 10^{-3}$	0,462	1,11	5,29	3,90	7,56	22,75
Изоамиловый спирт	$2,16 \cdot 10^{-9}$	$6,61 \cdot 10^{-9}$	$1,56 \cdot 10^{-8}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$6,53 \cdot 10^{-6}$	$2,92 \cdot 10^{-5}$	$9,08 \cdot 10^{-2}$	0,204	1,12	20,55	34,45	68,05

Уравнения материального баланса этилового спирта или примеси для отгонной части эффективностью w теоретических тарелок имеют вид:

$$\begin{aligned} L_w \cdot x_1 &= g \cdot y_0 + L_0 \cdot x_0 \\ L_w \cdot x_2 &= g \cdot y_1 + L_0 \cdot x_0 \\ \dots &\dots \\ L_w \cdot x_w &= g \cdot y_{w-1} + L_0 \cdot x_0, \end{aligned} \quad (18)$$

где L_w – молевой поток жидкости в отгонной части:

$$L_w = L_n - L_{\text{эн}};$$

$L_{\text{эн}}$ – молевой поток эпюрата;

L_0 – молевой поток лютера:

$$L_0 = L_w - g;$$

x_w – молевая доля спирта или примеси в эпюрате.

Решение уравнений (18) относительно молевой доли этилового спирта в лютере x_0 при $g=83,2593$ кмоль/ч, $x_w=0,1264$, $F_D \cdot y_D=0,6425$ кмоль/ч, $L_c=143,2115$ кмоль/ч, $l=222,0249$ кмоль/ч, $L_{\text{эн}}=182,98$ кмоль/ч, $L_w=264,52$ кмоль/ч, $L_0=181,26$ кмоль/ч дало следующий результат: $x_0=0,000001$ молевых долей, что свидетельствует о работе эпюрационной колонны без потерь спирта с лютером.

Используем теперь уравнения системы (18) для оценки доли хвостовых примесей α_0 , отбираемых с лютером из куба эпюрационной колонны. При этом отбором этой примеси из её конденсатора будем пренебрегать. Тогда:

$$\alpha_0 = \frac{L_0 \cdot x_0}{L_0 \cdot x_0 + L_{\text{эн}} \cdot x_{\text{эн}}} = \frac{1}{1 + \frac{L_{\text{эн}} \cdot x_w}{L_0 \cdot x_0}} \quad (19)$$

ЛИТЕРАТУРА

1 Цыганков П.С., Цыганков С.П. Руководство по ректификации спирта. М: Пищепромиздат, 2002. С. 380-381.

2 Перельгин В.М. Физико-химические основы расчёта и проектирования брагоректификационных аппаратов в спиртовой промышленности: автореф. дис. ... докт. техн. наук. К.: МГТУ, 1971. 40 с.

3 Пат. РФ №2277433, RU, B01D3/14 C12P7/06. Способ получения этанола / Перельгин В.М., Никитина С.Ю., Моисеенко В.С., Дячкина А.Б. №2004118263/13; Заявл. 2004118263; Опубл. 10.01.2006, Бюлл. №16.

4 Пат. РФ №2315108, RU, C12P7/06. Способ получения ректифицированного спирта / Перельгин В.М., Перельгин С.В. №2006104764/13; Заявл. 2006104764; Опубл. 20.01.2008, Бюлл. №2

5 Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. М-Л: Наука, 1966. Т. 267-269, 272, 540, 541.

Допускается постоянство коэффициентов испарения хвостовой примеси на тарелках отгонной части:

$$K_1^0 = K_2^0 = \dots = K_w^0 = K^0, \quad (20)$$

преобразуем уравнения системы (18) к виду:

$$\frac{x_w}{x_0} = \alpha_0^w + \frac{L_0 \cdot (1 - \alpha_0^w)}{L_w \cdot (1 - \alpha_0)}, \quad (21)$$

$$\text{где } \alpha_0 = \frac{g \cdot K^0}{L_w}. \quad (22)$$

Поскольку концентрация этилового спирта на большинстве тарелок отгонной части невелика, воспользуемся коэффициентами испарения K^0 уксусной, пропионовой и н. масляной кислот при их бесконечно малом содержании в смесях с водой. С использованием данных [5] о фазовом равновесии жидкость-пар в системах уксусная кислота-вода, пропионовая кислота-вода, н. масляная кислота-вода получено для уксусной кислоты $K^0=0,738$, для пропионовой кислоты $K^0=1,365$ и для н. масляной кислоты $K^0=1,682$. Найденные значения K^0 использованы для расчётов по уравнениям (19)-(22) величины α_0 изученных кислот при принятых условиях работы колонны: $\alpha_0=0,6183$ для уксусной кислоты, $\alpha_0=0,5485$ для пропионовой кислоты и $\alpha_0=0,5007$ для н. масляной кислоты. Таким образом, с лютером из куба эпюрационной колонны выводится 61,83 % уксусной кислоты, 54,85 % пропионовой кислоты и 50,07 % н. масляной кислоты от их количества в питании эпюрационной колонны.

REFERENCES

1 Tsygankov P.S., Tsygankov S.P. Rukovodstvo po rektifikatsii spirta [Guidelines for alcohol distillation]. Moscow, Pishcheprom, 2002. 400 p. (In Russ.).

2 Pereylin V.M. Fiziko-khimicheskie osnovy rascheta i proektirovaniya bragorektifikatsionnykh apparatov v spirtovoi promyshlennosti. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Physical and chemical bases of calculation and design bragorektifikatsion devices in industrial alcohol, laziness. Abstr. dr. techn. sci. diss.]. Krasnodar, 1971. 40p. (In Russ.).

3 Pereylin V.M., Nikitina S.Y., Moiseenko V.S., Dyachkina A.B. Sposob poluchenija jetanolja [A method for producing ethanol]. Patent RF, no2277433, 2006. (In Russ.).

4 Pereylin V.M., Pereylin S.V. Sposob poluchenija rektifikovannogo spirta [A method for producing rectified spirit]. Patent RF, no2315108, 2008. (In Russ.).

5 Kogan V.B., Fridman V.M., Kafarov V.V. Ravnovesie mezhdu zhidkostyu i parom [The equilibrium between liquid and vapor]. Moscow-Leningrad, 1966. 1440 p. (In Russ.).