



## УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ БИТУМА

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Ахатов Абдусамат<sup>1\*</sup>, Абдуллаев Сардор<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета»,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан  
\*Корреспондент автор: [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено количество групповых и химических элементов битума, применяемого в дорожном строительстве и дорожном покрытии, их соотношение, а также изменение количества масляных, смолистых и асфальтовых веществ в его составе вследствие увеличения плотности битума, также определены химические эмпирические формулы масел, смол и асфальтовых веществ битума.

**Ключевые слова:** битум, масла, ароматические углеводороды, смолы, асфальтены, элементный состав, углерод, водород, кислород, азот.

### Введение

Невозможно представить современность без развития автомобильного транспорта и строительства автомобильных магистралей. В связи с этим нефтяной битум, как материал для приготовления асфальтобетона, востребован в народном хозяйстве любой страны. В целом, по назначению различают битумы строительные, кровельные и дорожные. Строительные битумы применяют для изготовления асфальтобетона и растворов, приклеивающих и изоляционных мастик, покрытия и восстановления рулонных кровель. Кровельные битумы используют для изготовления кровельных рулонных и гидроизоляционных материалов. В дорожном строительстве применяют нефтяные (искусственные) битумы, получаемые переработкой нефтяного сырья. Искусственные (технические) битумы – остаточные продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев. По составу они сходны с природными битумами. Природные битумы представляют собой вязкое смолистое вещество, образующееся из тяжелых фракций нефти в результате длительного выветривания, и встречаются в виде пластовых жильных залежей, а также озера в местах естественного выхода нефти на поверхность земли [1, 2, 3].

Одна из основных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий – это низкое качество дорожных битумов, которые не обладают требуемыми адгезионными свойствами, так как склеивают только минеральные частицы основной породы. В Узбекистане, при строительстве автомобильных дорог применяются битумы различных марок, в частности 70/100 и 100/130. Применяемый битум производится в стране или импортируется. Содержание и химический состав компонентов битума влияет на его физико-химические свойства. Для проверки соответствия состава импортируемого сырья требованиям ГОСТ определяется групповой состав битума. Также в битуме определяются количество масел, смол, асфальтенов, агрегатный состав, сравнивается количество предельных и ароматических углеводородов, масел, смолы, асфальтенов в битуме [4]. Большое значение имеет изменение плотности битума, причем битумы с плотностью 0,85–0,9 г/см<sup>3</sup> более текучи, а битумы с плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> более пригодны для использования в дорожном строительстве. Но, тем не менее, количество химических элементов в битуме до сих пор не изучено.

Статья раскрывает часть исследований посвященных изучению группового и элементного состава битумов, а в частности определению количества углерода, водорода, кислорода, азота в парафино-нафтене, ароматических углеводородах, масел, смолах, асфальтенах в битуме.

### Методология

Исследования проводились в 2023-24 гг., в лаборатории ГП «Центральная испытательная лаборатория Автотранспортного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан. Был исследован битум марок 70/100 и 100/130, продукции битумного завода ТОО «ПНХЗ» (Павлодарский нефтехимический завод).

Групповой и элементный состав битума определялся расчетным путем [5], также использовались хроматографические методы исследования [6], в частности метод тонкослойной хроматографии (метод SARA) с использованием хроматографической системы IATROSCAN MK-6s с пламенно-ионизационным детектором, оптимизированная под анализ битумов, сырой нефти и тяжелых остатков.

Найдены коэффициенты для определения состава битума плотностью  $1,2 \text{ г/см}^3$ . Коэффициент для нахождения смолы - 2,302. Коэффициент для масла - 3,92. С помощью этих коэффициентов определялось количество смолы и масла:

Молекулярная масса смолы:  $1,2/2,302 \times 100 = 52,13$  ( $52,13 \times 12 = 625,6$ ;

Молекулярная масса масел:  $1,2/3,92 \times 100 = 30,6$  ( $30,6 \times 12 = 367,2$ ;

Молекулярная масса асфальтена:  $100 - 82,73 = 17,27$  ( $17,27 \times 12 = 207,2$ ;

Плотность битума  $1,2 \text{ г/см}^3$ :  $625,6 + 367,2 + 207,2 = 1200/1000$

Найденная вычислением плотность битума подтверждается плотностью битума в данной заданной задаче.

### Результаты и Обсуждение

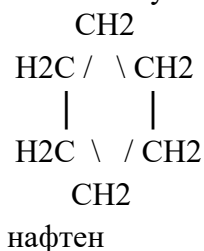
Результаты анализа группового состава битумов марок 70/100 и 100/130, показали, что в состав битума марки 70/100 плотностью  $1200 \text{ г/см}^3$  входят масла, смолы, асфальтены. Маслянистая часть битума делится на 3 группы. Каждая группа, в зависимости от содержания углерода, состоит из легких, средних и тяжелых ароматических соединений. Из таблицы 1 видно, что в легком ароматическом соединении в маслянистой части углерод составляет 1,55 %, в средней 1,65 % и в тяжелом ароматическом соединении 6,27 %, а в парафино-нафтеновой 7,82 %. В результате их соединения сумма соединений масла составляет 17,33 %, а его молекулярная масса равна 208, что соответствует стандартным параметрам (по стандартным параметрам молекулярная масса маслянистой части варьируется от 100 до 500).

**Таблица 1 - Зависимость изменения группового состава битума от плотности**

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Масло					Смола			Асфальтен	Масла гр	Смола, гр	Асфальтен, гр
	Парафен- нафтен	Легко ароматич.	Средне ароматич.	Тяжелое ароматич.	Сумма ароматич	Смола-1	Смола-2	Сумма смолы				
0,85	7,87	1,55	1,65	6,27	17,33	12,39	17,12	29,51	33,10	208	354	397
0,9	8,34	1,65	1,74	6,64	18,37	13,14	18,15	31,28	30,35	220	375	364
1,0	9,26	1,83	1,94	7,42	20,41	14,59	20,17	34,75	24,84	245	417	298
1,1	10,18	2,02	2,13	8,12	22,45	16,05	22,18	38,22	19,33	269	459	232
1,2	11,30	2,23	2,36	9,00	24,88	17,79	24,99	42,38	14,03	299	509	168
1,3	12,23	2,41	2,55	9,75	26,96	19,27	26,65	45,92	8,43	324	551	101

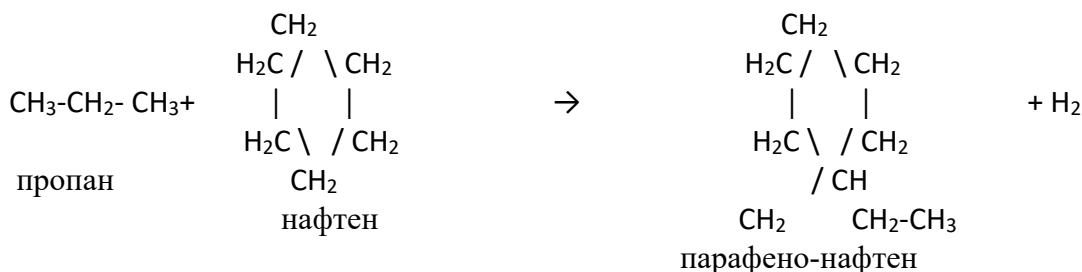
При плотности битума  $0,85 \text{ г/см}^3$  сумма долей ароматических углеводородов маслянистой части составляет  $17,33 \%$ , то есть молекулярная масса равна 208. Увеличивая плотность битума, маслянистая часть содержит ароматические углеводороды, например: содержание парафино-нафтенов от  $7,82\%$  до  $11,5 \%$ , легкая ароматика ароматических от  $1,55$  до  $2,97 \%$ , средняя ароматика от  $1,65$  до  $2,363 \%$ , тяжелая ароматика. По данным таблицы 1, она колеблется от  $6,3$  до  $9,75 \%$ . Аналогичные изменения происходят и в составе смол. Увеличение плотности битума с  $0,85 \text{ г/см}^3$  до  $1,3 \text{ г/см}^3$  приводит к увеличению количества смол. Молекулярная масса смол увеличивается от 354 до 551. Это означает, что увеличение содержания смол в битуме положительно влияет на его пластичность и вяжущие свойства. Из табл. 1 видно, что содержание асфальтенов в составе битума уменьшается с увеличением плотности остаточных твердых веществ. Важно, что снижение содержания асфальтенов в битуме приводит к улучшению качества битума. Содержание асфальтенов уменьшается с увеличением плотности, влияет на температуру размягчения и твердость битума.

Полиметиленовые углеводороды, входящие в состав масел, называются нафтенами.



Насыщенные углеводороды называются парафинами,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  и алкены, формула которых  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

В результате соединения парафинов и нафтенов в маслянистой части битума образуется парафино-нафтеновое масляное соединение. В его основе лежит следующая реакция сочетания. Например:



Содержание в парафино-нафтене С-9, Н-18;  $108 + 18 = 126$  молекулярная масса.

В парафино-нафтеновом составе С -  $85,71 \%$ , Н -  $14,29 \%$ , процентный расчет ароматических соединений от суммы масляной части в битуме марки 70/100 следующий:

- а) легкая ароматическая часть  $11,72 \%$ ;
- б) средняя ароматическая часть  $9,49 \%$ ;
- в) тяжелая ароматическая часть  $36,14 \%$ ;
- г) парафино-нафтеновая фракция  $42,65 \%$ .

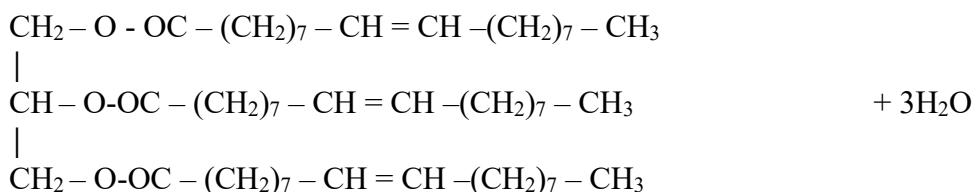
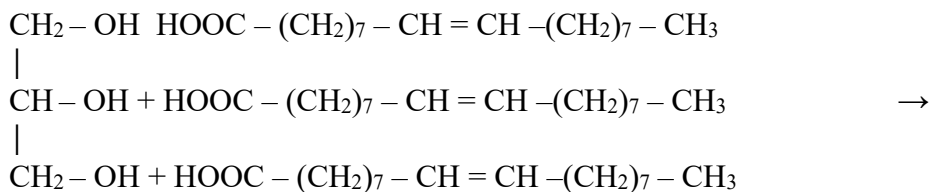
Всего  $100 \%$  ароматических масел. Эти цифры рассчитаны на основе приведенного выше уравнения.

Смолы. Сложные эфиры представляют собой смолы — смолистая часть битума может быть соединена при участии трехатомного спирта (глицерина) и олеина, стеорина, пальматиновых жирных кислот. Например, соединение трехатомного спирта и жирной стеариновой кислоты происходит на основе следующей реакции. В результате образуется олеостериновый эфир.

Олеостеорин представляет собой сложный эфир-смола. По данным литературы, молекулярная масса смолы варьируется от 500 до 1000. Молекулярная масса олеостериновой

смолы, полученной по приведенному выше уравнению, равна 884, а процентное содержание элементов в ее составе следующее:

- Углерод 77,38 %;
- Водород 11,76 %;
- Кислород 10,86 %;
- Всего 100 %.



При переходе нефтяной части в смолы и асфальтены уменьшается количество конденсированных гетероатомов, молекулярная масса, соотношение Н/С, в приведенном примере соотношение Н/С составляет 0,15. Отношение углерода к водороду приводит к образованию двойных связей в углеводородной цепи.

Битум обладает способностью присоединять углерод, водород, хлор, гидроксид, а также нитрогруппу, аминогруппу и алкены, поскольку присоединяет вышеуказанные группы за счет разрыва двойных связей в углеводородной цепи и за счет потери водорода.

В нашей исследовательской работе было изучено количество элементов в химическом составе масляной и смоляной части битумов. В ходе анализа анализировались образцы битума двух разных плотностей. В таблице 2 представлены изменения группового и химического состава битума и его плотности. По литературным данным, битум состоит из следующих элементов:

- Углерод 80-87 %;
- Водород 10-12 %;
- Кислород 5-10 %;
- Сера 2-5 %;
- Азот 3%.

Из таблицы 2 видно, что в битумах плотностью 0,85 г/см<sup>3</sup> легких, средних и тяжелых ароматических углеводородов в масляной части, количество насыщенных углеводородов при содержании парафино-нафтен в 1,4-1,5 раза выше, чем в битумах плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 2 - Зависимость изменения химического состава битума от плотности 0,85 -1,2 г/см<sup>3</sup>**

Элементы	Плотность битума г/см <sup>3</sup>	Масла						Смола				Асфальтен		Битум		Общее от элементов битума, %
		Парафин нафтен насыщенный	Легкая ароматика	Средняя ароматика	Тяжелая ароматика	Сумма аромат. в-ств		Смола-1 %	Смола-2 %	Общее		Общее		Общее		
						%	мг			%	мг	%	мг	%	мг	
<b>С</b>	0,85	7,82	1,55	1,647	6,267	17,33	17330	12,390	17,123	29,513	29513	33,095	33095	79,94	79940	79,94
<b>Н</b>		1,111	0,219	0,233	0,885	2,448	2448	1,750	2,418	4,168	41680	4,676	4676	11,2960	11296	11,30
<b>О</b>		0,463	0,090	0,097	0,369	1,018	1018	0,729	1,007	1,736	1736	1,947	1947	4,700	4700	4,67
<b>S</b>		0,185	0,037	0,038	0,147	0,407	407	0,292	0,403	0,695	695	0,779	779	1,879	1879	1,87
<b>N</b>		0,277	0,054	0,058	0,221	0,610	610	0,437	0,604	1,042	1042	1,168	1168	2,822	2822	2,80
<b>Σ</b>		9,902	1,951	2,073	7,889	21,815	21815	15,599	21,556	37,155	37155	37,155	41665	41,665	100600	100,6
<b>С</b>	1,2	11,299	2,227	2,357	8,999	24,882	24882	17,794	24,997	42,791	42791	13,616	13616	81,29	81290	81,29
<b>Н</b>		1,357	0,267	0,283	0,990	2,897	2897	2,949	3,000	5,950	5950	1,684	1684	10,535	10535	10,54
<b>О</b>		0,565	0,111	0,118	0,434	1,228	1228	0,890	1,250	2,140	2140	0,702	702	4,073	4073	4,07
<b>S</b>		0,226	0,045	0,047	0,220	0,538	538	0,356	0,500	0,860	860	0,279	279	1,650	1650	1,65
<b>N</b>		0,339	0,067	0,071	0,270	0,746	746	0,518	0,753	1,271	1271	0,421	421	2,439	2439	2,44
<b>Σ</b>		13,786	2,718	2,876	10,913	30,293	30293	22,508	30,500	53,008	53008	16,701	16701	100,0	100000	100,00

Закономерно, что в битуме плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> значительно преобладают количества углерода, водорода, кислорода, серы и азота в составе легких, средних и тяжелых ароматических углеводородов, а также преобладают количество насыщенных и ароматических углеводородов. Поскольку чем выше плотность битума, тем больше в нем содержится масла и смолы, по сравнению с битумом с меньшей плотностью, тем более текучим и подвижным становится битум.

Количество асфальтовых углеводородов в битуме плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> подтверждено данными по битуму плотностью 0,85 г/см<sup>3</sup>. Следует также отметить, что количество химических элементов в составе битума, имеющего высокую плотность, соответствует стандартным параметрам, но несколько отличается низкой плотностью битума, что может быть связано с высоким содержанием асфальтовых углеводородов.

Процентное содержание масел, смол и асфальтенов в битуме приведено в таблице 3. Соотношение масел, смол и асфальтенов в битуме плотностью 0,85 г/см<sup>3</sup> по отношению к молекулярной массе битума следующее: масляная часть составляет 21,68 %, смолистая – 36,92 %, асфальтовая – 41,4 %.

**Таблица 3 - Изменение количества масел, смолы и асфальтенов относительно молекулярной массы битума**

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Сумма, мг			Молекулярная масса битума, мг	Битум масса, %		
	Масла	Смолы	Асфальтены		Масла	Смолы	Асфальтены
0,85	17330	29513	33095	79938	21,68	36,92	41,40
1,2	24882	42791	13616	81290	30,61	52,64	16,75

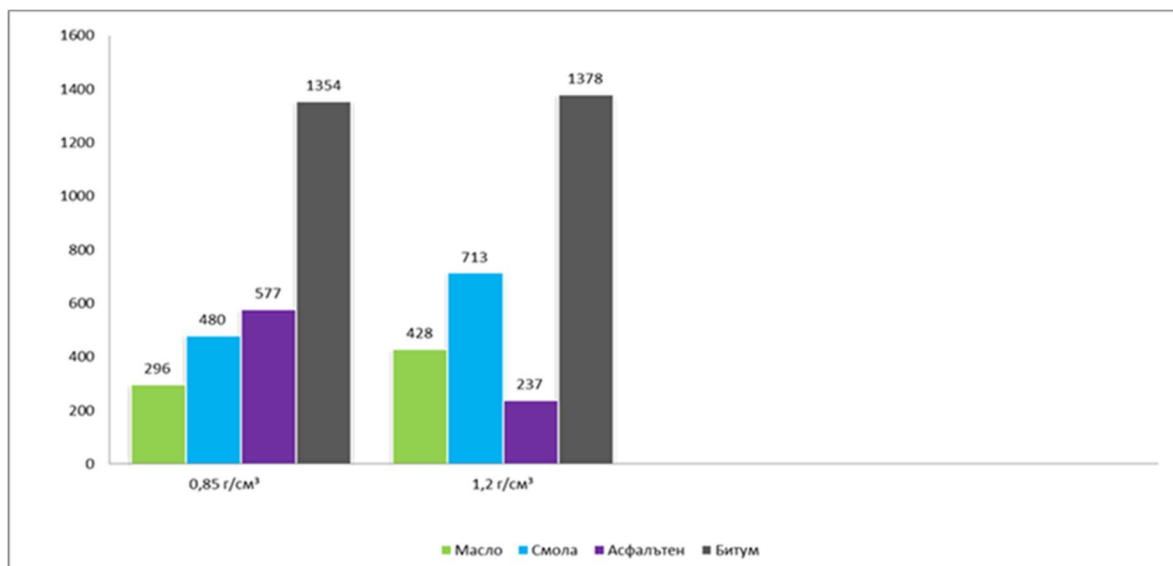
Как видно из таблицы 3, битум плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> содержит 30,61 % масла, 52,64 % смол и 16,75 % асфальтенов. Показателем качества битума высокой плотности является тот факт, что содержание асфальтенов в битуме высокой плотности в 2,5 раза ниже, чем в битуме низкой плотности.

По результатам химического анализа битума сформирована эмпирическая формула маслянистых, смолистых и асфальтовых веществ. В таблице 4 представлена количественная разница химических элементов между битумами плотностью 0,85 г/см<sup>3</sup> и 1,2 г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 4 - Формирование оптимальной формулы битума на основе полученных данных**

Плотность г/см <sup>3</sup>	Масла	СМОЛЫ	Асфальтены
0,85	C <sub>1444</sub> H <sub>2448</sub> O <sub>294</sub> S <sub>52</sub> N <sub>206</sub>	C <sub>2959</sub> H <sub>4168</sub> O <sub>109</sub> S <sub>22</sub> N <sub>74</sub>	C <sub>2758</sub> H <sub>4676</sub> O <sub>122</sub> S <sub>24</sub> N <sub>83</sub>
1,2	C <sub>2074</sub> H <sub>2897</sub> O <sub>77</sub> S <sub>17</sub> N <sub>53</sub>	C <sub>2536</sub> H <sub>5950</sub> O <sub>134</sub> S <sub>27</sub> N <sub>91</sub>	C <sub>1135</sub> H <sub>1684</sub> O <sub>44</sub> S <sub>91</sub> N <sub>30</sub>
0,85	C <sub>6662</sub> H <sub>11292</sub> O <sub>525</sub> S <sub>98</sub> N <sub>363</sub> общая формула битума		
1,2	C <sub>6745</sub> H <sub>10531</sub> O <sub>255</sub> S <sub>52</sub> N <sub>174</sub> общая формула битума		

Из этих данных также видно, что битум плотностью 0,85 г/см<sup>3</sup> существенно отличается от битума плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>, как показано на рисунке 1. Отчетливо видна разница между маслом, смолой и асфальтовыми веществами в битуме.



**Рисунок 1** - Распределение маслянистых, смолистых и асфальтеновых веществ в битуме

Исходя из эмпирической формулы битума плотностью  $0,85 \text{ г/см}^3$ , соотношение водорода к углероду (Н:С) в маслах, смоле и асфальтеновых веществах составляет 1,7. В этом битуме дисперсная фаза практически одинакова, но в битуме плотностью  $1,2 \text{ г/см}^3$  соотношение Н:С колеблется от 1,4 до 1,68 в маслах, смоле и асфальтенах. Это свидетельствует о различной дисперсной фазе масел, смол и асфальтенов, содержащихся в битуме. То есть потеря водорода приводит к увеличению двойных связей в битуме.

### Заключение

1. Установлено, что при превращении масляной фракции в смолы и асфальтены наблюдаются конденсация, гетероатомизация, уменьшение молекулярной массы, соотношения Н:С и образование двойных связей в углеводородной цепи.
2. Установлено, что группы N, Cl, OH, NO<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> объединяются за счет разрыва связей в углеводородной цепи.
3. Показано, что изменения количества химических элементов в масляной и смоляной группах битумов с двумя различными плотностями  $0,85 \text{ г/см}^3$  и  $1,2 \text{ г/см}^3$  являются основными факторами, указывающими на качество и долговечность битума.
4. Соотношение масла, смолы и асфальтенов в битуме плотностью  $0,85 \text{ г/см}^3$  по отношению к молекулярной массе битума следующее: масло – 17,33 %, смола – 29,51 %, асфальтены – 33,09 %.
5. На основании результатов химического анализа состава битума составлена эмпирическая формула маслянистых, смолистых и асфальтеновых веществ.

### Список литературы

7. Коршак А.А. Исторические свидетельства о естественных выходах нефти// Территория нефтегаз. - 2010. - № 10 - С.86-89. <file:///C:/Users/user/Downloads/istoricheskie-svidetelstva-o-estestvennyh-vyhadah-nefti.pdf>
8. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. - М.: Химия, 1973. – 450 с.
9. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. - 260 с.
10. Старостина О. И., Соловьев В. Г., Чистова Т. А. Определение группового состава битума методом тонкослойной хроматографии//Труды БГТУ. Серия II. Лесная и



деревообрабатывающая промышленность. – Вып. XIII. – Минск. – 2005. – С.93-94.  
<https://elib.belstu.by/handle/123456789/55321?mode=full>

11. Кирхнер Ю. Тонкослойная хроматография. Т. 1, 2. - М.: Мир, 1981. - 616 с.

**Сведения об авторах (на трех языках):**

Автор 1 - Ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, аға ғылыми қызметкер, Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

Автор 1 - к.с-х.н., доцент, с.н.с., ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан, [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

Author 1 - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Research, State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee», Tashkent, Republic of Uzbekistan, [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

Автор 2 - Директор, "Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы, [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

Автор 2 - Директор, ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан, [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

Author 2 - Director, State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee», Tashkent, Republic of Uzbekistan, [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

**Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):**

Автор 1 - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование, получение финансирования.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Использование искусственного интеллекта (ИИ):** ИИ при подготовке статьи не использовался.

## БИТУМ ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӨЗГЕРУІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ҮЛЕСІН АРТТЫРУ

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Ахатов Абдусамат<sup>1\*</sup>, Абдуллаев Сардор<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы

\*Корреспондент автор: [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

**Аннотация.** Бұл мақалада жол құрылысында және жол төсемінде қолданылатын битумның топтық және химиялық элементтерінің саны, олардың арақатынасы, сондай-ақ битум тығыздығының артуына байланысты оның құрамындағы майлы, Шайырлы және асфальтенді заттардың мөлшерінің өзгеруі қарастырылған, сонымен қатар битум майларының, шайырларының және асфальтенді заттардың химиялық эмпирикалық формулалары анықталған.

**Түйін сөздер:** битум, майлар, хош иісті көмірсутектер, шайырлар, асфальтендер, элементтік құрам, көміртегі, сутегі, оттегі, азот.

## INCREASING THE SHARE OF ORGANIC MATTER DUE TO CHANGES IN THE DENSITY OF BITUMEN

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Akhatov Abdusamat<sup>1\*</sup>, Abdullaev Sardor<sup>1</sup>



<sup>1</sup> State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee»,  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

\* Corresponding author: [akhatov.2020a@gmail.com](mailto:akhatov.2020a@gmail.com)

**Abstract.** This article examines the number of group and chemical elements of bitumen used in road construction and road pavement, their ratio, as well as changes in the amount of oil, resin and asphaltene substances in its composition due to an increase in the density of bitumen, and also determines the chemical empirical formulas of oils, resins and asphaltene substances of bitumen.

**Keywords:** bitumen, oils, aromatic hydrocarbons, resins, asphaltenes, elemental composition, carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen.



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).