

УДК 625.748.54

## РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ САМОТЕЧНОГО СЛИВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Н. А. Русанов, Д. Н. Китаев

*Воронежский государственный технический университет**Н. А. Русанов, магистрант теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru**Д. Н. Китаев, канд. техн. наук доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

**Постановка задачи.** Доставка топлива на городские автозаправочные станции осуществляется автоцистернами различной вместительности и влияет на процесс загрузки транспортной инфраструктуры. Как правило, слив светлых нефтепродуктов осуществляется самотеком в резервуары, расположенные на территории автозаправочных станций. Время, затраченное на слив топлива, пребывание автоцистерны на АЗС, является важным логистическим параметром, необходимым при планировании перевозок.

**Результаты.** Проведены расчеты времени самотечного слива бензина из различных типов автоцистерн в горизонтальные резервуары АЗС емкостью от 5 до 50 м<sup>3</sup>. Установлено, что максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара. Получены осредненные значения.

**Выводы.** Получено уравнение в виде полинома третьей степени, позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны.

**Ключевые слова:** автозаправочные станции, автоцистерны, резервуары, самотечный слив.

**Введение.** Автозаправочные станции являются неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов [1]. Доставка топлива на городские АЗС осуществляется автоцистернами различной вместительности и влияет на процесс загрузки транспортной инфраструктуры. Как правило, слив светлых нефтепродуктов осуществляется самотеком в резервуары, расположенные на территории автозаправочных станций. Время, затраченное на слив топлива, пребывание автоцистерны на АЗС, является важным логистическим параметром, необходимым при планировании перевозок.

**1. Особенности методики расчета.** Расчет времени самотечного слива топлива из автоцистерн в резервуары разного объема под уровень достаточно сложен [2, 3, 11]. На практике возникает необходимость численной реализации алгоритма на ЭМВ.

Время полного слива автоцистерны  $\tau$ , с находится по формуле

$$\tau = \frac{\pi L_{\text{ц}} AB}{f_m v_{\text{cp}}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{ц}}$ ,  $A$ ,  $B$  –  $L_{\text{ц}}$  длина, большая и малая ось эллипсовидной автоцистерны соответственно, м; площадь сечения сливного трубопровода  $f_m$ , м<sup>2</sup>;  $v_{\text{cp}}$  – средняя скорость нефтепродукта в приемном трубопроводе, м/с.

Определяющее значение в выражении (1) играет скорость, которая определяется как среднее арифметическое начальной и конечной скорости слива. Скорость слива является нестационарной величиной, так как с течением времени изменяется уровень жидкости, как в автоцистерне, так и в приемном резервуаре, может изменяться режим движения.

В процессе расчета времени слива приходится решать трансцендентные уравнения вида [3]

:

$$\frac{V}{d_p^2 L_p} = 0,25 \arcsin 2\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} - (0,5 - \bar{z})\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} \quad \text{при } \bar{z} < 0,5; \quad (2)$$

$$\frac{V}{d_p^2 L_p} = 0,25 \left[ \pi - \arcsin 2\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} + 4(\bar{z} - 0,5)\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} \right] \quad \text{при } \bar{z} \geq 0,5, \quad (3)$$

где  $V$  – изменяющийся объем нефтепродукта в резервуаре,  $\text{м}^3$ ;  $d_p, L_p$  – диаметр и длина приемного цилиндрического резервуара,  $\text{м}$ ;  $\bar{z}$  – относительный уровень в резервуаре.

**2. Алгоритм расчета и его реализация.** С целью реализации алгоритма расчета самоотечного слива светлых нефтепродуктов была создана программа на алгоритмическом языке Visual Basic for Application (VBA) [4], реализующая разветвленный циклический алгоритм [5]. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

**Блок 1.** Ввод исходных данных: длина  $l_m$  и диаметр  $d_m$  приемного трубопровода АЗС; длина  $l$  и диаметр  $d$  рукава автоцистерны; длина  $l_0$  и диаметр  $d_0$  сливного патрубка; расстояние по вертикали между нижней образующей автоцистерны и поверхностью нефтепродукта в приемном резервуаре в момент начала слива  $h(0)$ ; сумма местных сопротивлений  $\Sigma \xi$ ; плотность бензина  $\rho_6$ ; начальный уровень бензина в резервуаре АЗС  $z_p(0)$ ; эквивалентная шероховатость  $K_s$ ; размеры малой оси  $B$ , большой оси  $A$ , и длина автоцистерны  $L_u$ ; диаметр  $d_p$  и длина  $L_p$  приемного резервуара; атмосферное давление  $P_a$ ; давление насыщенных паров бензина  $P_s$ ; кинематическая вязкость бензина  $\nu = 0,7 \cdot 10^{-6}$ ; регулируемое давление дыхательного клапана  $P_{\text{кд.А}}$ ; коэффициент Лейбенсона  $m$  [6, 7, 10].

**Блок 2.** Расчет величин, входящих в трансцендентные уравнения (2), (3). Вычисляются значения коэффициента гидравлического сопротивления рукава автоцистерны  $\lambda_y$ , значение функции  $f(A_*)$ , коэффициент расхода сливной коммуникации  $\mu_{pa}$ , относительный уровень в резервуаре  $\bar{z}(0)$  в зависимости от коэффициента  $m$ . В зависимости от значения  $\bar{z}(0)$  определяются начальный уровень бензина  $V(0)$  в приемном резервуаре, объем бензина в приемном резервуаре  $V$ .

**Блок 3.** Решение уравнений вида (2), (3) с заданной точностью методом дихотомии [5].

**Блок 4.** Пересчет характеристик сливной коммуникации. Рассчитываются значения изменения высоты в резервуаре  $\Delta z_p$ , средняя скорость бензина  $v_{cp}$ , в приемном трубопроводе, устанавливается фактический режим движения, определяется новое значение коэффициента расхода сливной коммуникации  $\mu_{pa}^*$ . При разнице  $|\mu_{pa} - \mu_{pa}^*| \leq 0,01$  переходим к блоку 5, в противном случае, возвращаемся к блоку 2.

**Блок 5.** Расчет времени слива. Определяется площадь сечения сливного трубопровода  $f_m$  и время полного слива автоцистерны  $\tau$ .

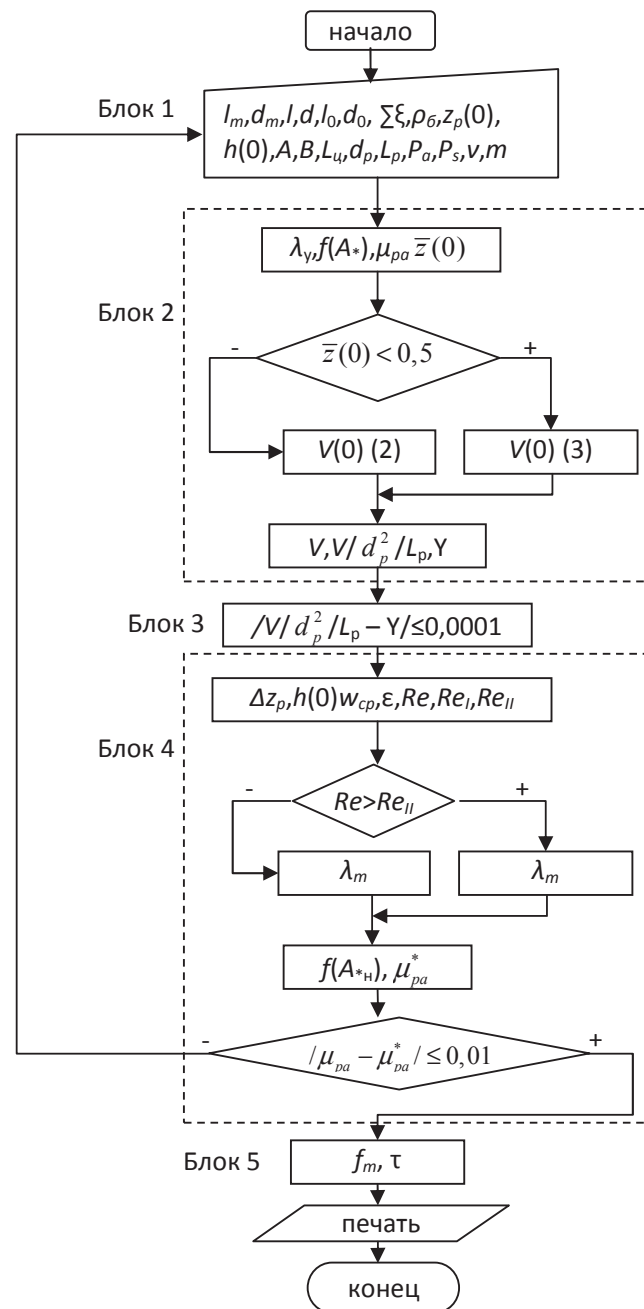


Рис.1. Структурная схема вычисления времени слива бензина

**3. Результаты расчетов и их анализ.** Перед расчетом по рассмотренному алгоритму предварительно определялся максимально возможный начальный уровень топлива в приемном резервуаре  $z_p(0)_{\max}$ . Значение  $z_p(0)_{\max}$  находилось из условия, что сумма объемов жидкости при начальном уровне  $V(0)$  и эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{\text{экс}}$  не должны превышать объем резервуара:

$$V(0) + V_{\text{экс}} \leq V. \quad (4)$$

Задача отыскания значения  $z_p(0)_{\max}$  решалась методом подбора для каждого типа автоцистерны и резервуаров.

На рис. 2 представлена зависимость времени полного слива бензина из автоцистерны АЦ-4 от начального уровня топлива в приемном резервуаре  $z_p(0)$  емкостью  $10\text{ м}^3$ . Методом последовательных приближений было найдено минимальное время слива  $\tau_{\min}=7,7$  мин, которому соответствует экстремальное значение начального уровня топлива  $z_p(0)_{\text{экс}}=0,8$  м.

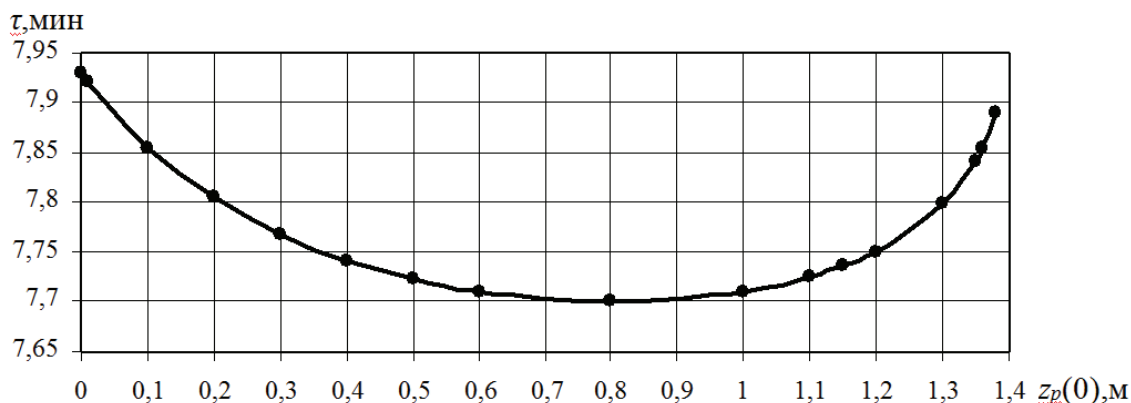


Рис.2. Зависимость времени слива бензина из автоцистерны АЦ-4 в резервуар емкостью  $10\text{ м}^3$  от начального уровня

В таблице представлены результаты расчетов основных параметров самотечного слива: максимальное  $\tau_{\max}$ , минимальное  $\tau_{\min}$  и осредненное  $\tau_{\text{ср}}$  время опорожнения автоцистерны; начальные уровни топлива  $z_p(0)_{\text{экс}}$ ,  $z_p(0)_{\max}$  в приемных резервуарах, обеспечивающие минимальное и максимальное время слива соответственно.

Таблица

Параметры слива для автоцистерн в резервуары

Объем резервуара, $V, \text{м}^3$	Максимальное время слива, $\tau_{\max}, \text{мин}$	Среднее время слива, $\tau_{\text{ср}}, \text{мин}$	Минимальное время слива, $\tau_{\min}, \text{мин}$	$z_p(0)_{\text{экс}}, \text{м}$	$z_p(0)_{\max}, \text{м}$
АЦ-4					
5	9,51	9,33	9,201	0,35	0,53
10	7,93	7,79	7,7	0,8	1,38
25	7,12	7,02	6,958	1,2	2,15
50	6,88	6,80	6,769	1,3	2,4
АЦ-5,5					
10	26,56	26,07	25,746	0,6	1,17
25	23,5	23,13	22,903	1,2	2
50	22,57	22,30	22,1536	1,3	2,4
АЦ-8,5					
10	32,19	31,57	31,15	0,4	0,73
25	27,05	26,59	26,261	1	1,73
50	25,61	25,25	25,0397	1,3	2,25
АЦ-10					
10	49,8	48,93	48,25	0,3	0,48
25	40,2	39,44	39,003	1	1,6
50	37,82	37,29	45,942	1,3	2,17

По данным табл. можно сделать следующие выводы. Максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара и можно пользоваться осредненными значениями. При увеличении объемов приемных резервуаров уменьшается разница экстремальных значений времени слива. При увеличении объема резервуара время слива уменьшается.

На рис. 3 представлены значения зависимостей безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  в интервале  $0,1281 \leq \bar{z} \leq 0,9823$  в зависимости от расчетного комплекса  $Y = \frac{V}{d_p^2 L_p}$  для всех рассмотренных типов автоцистерн и приемных резервуаров.

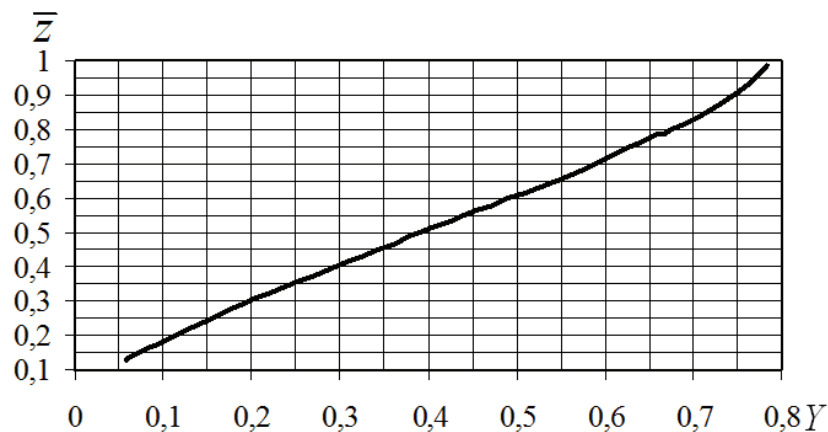


Рис. 3. Зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$

Характер полученной кривой (см. рис. 3) подсказывает, что она может быть аппроксимирована полиномиальной зависимостью степени выше 2 [8]. Было найдено уравнение регрессии в виде полинома степени  $k=3$  вида [9]

$$\bar{z} = 0,0372 + 1,6368Y - 1,7821Y^2 + 1,5495Y^3. \quad (5)$$

На рис. 4 представлена зависимость среднего времени слива бензина  $\tau_{cp}$  от эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{экс}$ , построенная на основе табл. 1 по осредненным данным.

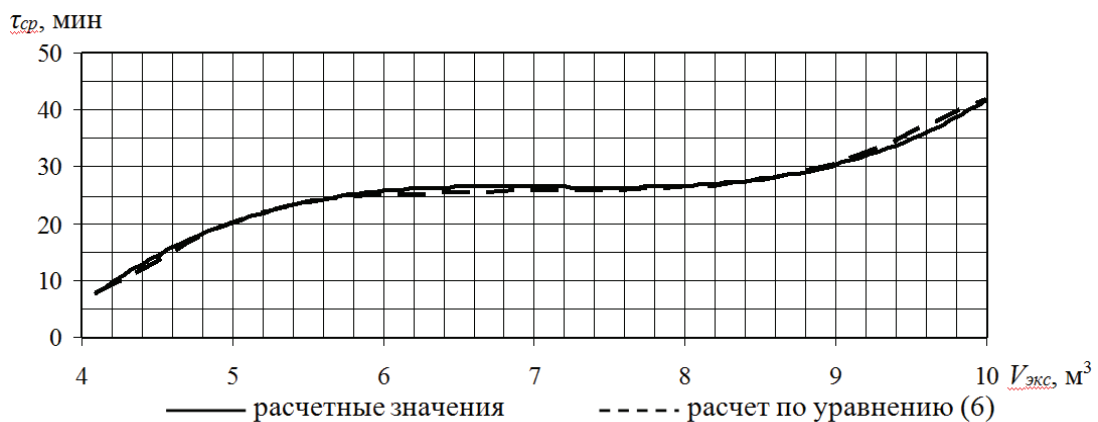


Рис. 4. Зависимость времени самотечного слива бензина от объема автоцистерны

Было получено аппроксимационное уравнение с доверительной вероятностью  $p=0,95$ , позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары емкостью от 5 до 50 м<sup>3</sup> в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{\text{экс}}$ :

$$\tau_{\text{ср}} = -224,849 + 106,129V_{\text{экс}} - 14,901V_{\text{экс}}^2 + 0,6955V_{\text{экс}}^3. \quad (6)$$

### Выводы.

1. Проведены расчеты времени самотечного слива бензина из различных типов автоцистерн в горизонтальные резервуары АЗС емкостью от 5 до 50 м<sup>3</sup>.
2. Для каждого типа автоцистерны и сортамента резервуаров построена графическая зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$  и зависимости времени слива из автоцистерн в резервуары от начального уровня жидкости.
3. Для каждого типа автоцистерны найдено среднее время слива  $\tau_{\text{ср}}$ , максимальное и минимальное время слива при соответствующих начальных уровнях в резервуарах.
4. На основе анализа полученных данных установлено, что максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара и можно пользоваться осредненными значениями. При увеличении объемов приемных резервуаров уменьшается разница экстремальных значений времени слива. При увеличении объема резервуара время слива уменьшается.
5. Найдена универсальная зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$  в виде полинома третьей степени, необходимая для расчетов времени слива при использовании исходных данных, отличных от условий выполненных расчетов.
6. Получено аппроксимационное уравнение в виде полинома третьей степени, с доверительной вероятностью  $p=0,95$ , позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары емкостью от 5 до 50 м<sup>3</sup> в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны.

### Библиографический список

1. Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры муниципального образования: монография / В.Н. Семенов, Д.Н. Китаев, П.Г. Грабовый и др.; под общ.ред. В.Н. Семенова/ Изд-во Воронежского ГАСУ, 2010. – 135с.
2. Шалай, В. В. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС: учеб. пособие. / В. В. Шалай, Ю. П. Макушев. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 296 с.
3. Тугунов, П. И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие для вузов / П.И. Тугунов [и др.] – Уфа: ООО «Дизайн-Полиграф Сервис», 2002. – 658 с.
4. Кузьменко, В. Г. ВБА 2003. / В.Г. Кузьменко / М.: ООО «Бином-Пресс», 2004г. – 432с.
5. Соболев, Б. В. Методы оптимизации: практикум / Б.В. Соболев, Б.Ч. Месхи, Г.И. Каныгин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 380с.
6. Китаев, Д. Н. Расчет нефтяного насоса и построение рабочей характеристики : учеб.-метод. пособие для студ. спец. 21.03.01/ Д.Н. Китаев ; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2015. - 66 с.
7. Васильев, И. Е. Влияние вязкости перекачиваемой среды на характеристики магистральных нефтяных насосов / И.В. Васильев, Д.Н. Китаев, Е.П. Коротких, Т.О. Маслова/ Молодой ученый. – №9(143). – 2017. Том 1. – С. 42-45.
8. Китаев, Д. Н. Интерполяционные полиномы теплоемкостей идеальных газов /Д.Н. Китаев, О.А. Цуканова// Молодой ученый. – 2008. – №1. – С.7-13.
9. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. школа. 1982. – 224с.
10. Тульская, С. Г. Подогрев и вероятная температура нефтепродуктов в резервуарах при хранении / С. Г. Тульская, С. В. Чуйкин, С.А. Петров // Молодой ученый. – 2016. – № 21 (125). – С. 226-228.
11. Мартыненко, Г. Н. Температурный режим хранения нефтепродуктов в резервуарах / Г. Н. Мартыненко, С. Г. Тульская // Учебное пособие / Воронеж, 2015. – 54 с.

## References

1. Kompleksnoe razvitie sistem kommunal'noj infrastruktury municipal'nogo obrazovaniya: mono-grafija / V.N. Semenov, D.N. Kitaev, P.G. Graboviy i dr.; pod obshh.red. V.N. Semenova/ Izd-vo Voronezhskogo GASU, 2010. – 135s.
2. **Shalaj, V. V.** Proektirovanie i jekspluatsiya neftebaz i AZS: ucheb. posobie. / V. V. Shalaj, Ju. P. Makushev. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. – 296 s.
3. **Tugunov, P. I.** Tipovye raschety pri proektirovanii i jekspluatsii neftebaz i nefteprovodov: ucheb. posobie dlja vuzov / P.I. Tugunov [i dr.] – Ufa: OOO «Dizajn-Poligraf Servis», 2002. – 658 s.
4. **Kuz'menko, V. G.** VBA 2003. / V.G. Kuz'menko / M.: OOO «Binom-Press», 2004g. – 432s.
5. Sobol', B. V. Metody optimizacii: praktikum / B.V. Sobol', B.Ch. Meshi, G.I. Kanygin. – Rostov n/D.: Feniks, 2009. – 380s.
6. **Kitaev, D. N.** Raschet nefljanogo nasosa i postroenie rabochej harakteristiki : ucheb.-metod. posobie dlja stud. spec. 21.03.01/ D.N. Kitaev ; Voronezhskij GASU. – Voronezh, 2015. - 66 s.
7. **Vasil'ev, I. E.** Vlijanie vjazkosti perekachivaemoj sredy na harakteristiki magistral'nyh nefljanym nasosov / I.V. Vasil'ev, D.N. Kitaev, E.P. Korotkih, T.O. Maslova/ Molodoj uchenyj. – №9(143).– 2017. Tom 1.– S. 42-45.
8. Kitaev, D. N. Interpoljacionnye polinomy teploemkostej ideal'nyh gazov /D.N. Kitaev, O.A. Cuka-nova// Molodoj uchenyj. – 2008. – №1. – S.7-13.
9. **L'vovskij, E. N.** Statisticheskie metody postroenija jempiricheskikh formul / E.N. L'vovskij. – M.: Vyssh. shkola. 1982. – 224s.
10. **Tul'skaja, S. G.** Podogrev i verojatnaja temperatura nefteproduktov v rezervuarah pri hranenii / S. G. Tul'skaja, S. V. Chujkin, S.A. Petrov // Molodoj uchenyj. – 2016. – № 21 (125). – S. 226-228.
11. **Martynenko, G. N.** Temperaturnyj rezhim hranenija nefteproduktov v rezervuarah / G. N. Martynenko, S. G. Tul'skaja // Uchebnoe posobie / Voronezh, 2015. – 54 s.

## CALCULATION OF THE TIME OF THE SELF-DRAINING OF LIGHT OIL PRODUCTS AT THE REFUELING STATIONS

N. A. Rusanov, D. N. Kitaev

*Voronezh State Technical University*

*N. A. Rusanov, master student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*D. N. Kitaev, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

**Statement of the problem.** Delivery of fuel to urban filling stations is carried out by tank trucks with different capacities and influences the boot process of the transport infra-structure. Usually drain light oil by gravity to the reservoirs located on the territory of petrol stations. The time taken to drain the fuel, stay for the trucks at filling stations, is an important logistical parameter is required when planning the transport.

**Results.** The calculations of the time of gravity draining of gasoline from different types of auto tanks horizontal tanks of filling stations with capacity from 5 to 50m<sup>3</sup>. It is established that the maximum and minimum drain time do not differ significantly for each tank. The obtained averaged values.

**Conclusions.** The resulting equation in the form of a third-order polynomial, which allows to calculate the time for gravity draining of petrol in horizontal tanks, depending on operational volume of the tanker.

**Keywords:** gas stations, tank trucks, storage tanks, gravity drain.

*Для цитирования: Русанов, Н. А.* Расчет времени самотечного слива светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях / Н. А. Русанов, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 66-72.

*For citation: Rusanov, N. A.* Calculation of the time of the self-draining of light oil products at the refueling stations / N. A. Rusanov, D. N. Kitaev // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 66-72.