

УДК 614.849

s_sharhun@mail.ru

**ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ
СТРУЙНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ
В РЕЖИМЕ ДЫМОУДАЛЕНИЯ**

**EXPERIENCE OF SIMULATION OF UNIDIRECTIONAL SYSTEM
OF JET VENTILATION OF UNDERGROUND CAR PARK
IN SMOKE REMOVAL MODE**

*Шархун С. В., кандидат технических наук,
Ожегов Э. А., кандидат технических наук, Франкевич А. Е.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Седов Д. В., кандидат технических наук,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск,
Шубкин Р. Г., кандидат технических наук,
Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск,
Колбин Т. С., главный специалист ООО «Байер», Москва*

*Sharhun S. V., Ozhegov E. A., Frankevich A. E.,
Urals Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Sedov D. V., Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk,
Shubkin R. G., East Siberian Institute of the Ministry
of Internal Affairs of Russia, Irkutsk,
Kolbin T. S., Chief Specialist of Bayer LLC, Moscow*

В статье представлены результаты моделирования системы струйной вентиляции для подземной автостоянки жилого дома. Рассмотрен вопрос о возможности использования элементов вентиляции и кондиционирования, реализованных в программном комплексе Fire Dynamics Simulator, при моделировании систем струйной вентиляции. Выявлены пороги значений размера ячейки, использование которых допустимо при моделировании подобных систем и протекающих в них процессов.

Ключевые слова: вентилятор, струйная вентиляция, система автоматического дымоудаления при пожаре, моделирование, подземная автостоянка, размер ячейки сетки, расчетные домены.

The article presents the results of modeling of the jet ventilation system for the underground parking lot of the residential building. The possibility of using ventilation and air conditioning elements implemented in the Fire Dynamics Simulator software complex in modeling jet ventilation systems was considered. Thresholds of cell size values are identified, the use of which is permissible in modeling of similar systems and processes going on in them.

Keywords: Fan, jet ventilation, automatic smoke removal system in case of fire, simulation, underground parking, mesh cell size, design domains.

В условиях развития мегаполисов преимущественно применяется точечная застройка. Для увеличения полезного объема здания, а также повышения уровня

комфорта граждан уже невозможно представить современный жилой дом без подземной парковки, в большинстве случаев которая проектируется с открытой въездной рампой. Однако, несмотря на очевидные технико-экономические преимущества такого решения, существует ряд серьезных недостатков, связанных с обеспечением безопасности на подобных объектах, главным из которых является сложность ведения действий по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ в подземных этажах.

Упростить задачи тушения пожаров и обеспечения безопасной эвакуации людей призваны системы противопожарной защиты:

- 1) системы пожарной сигнализации;
- 2) системы оповещения и управления эвакуацией;
- 3) системы автоматического пожаротушения;
- 4) системы автоматического дымоудаления при пожаре.

В настоящее время параметры расчета систем дымоудаления определяются в соответствии с СП 7.13130 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» [1]. Система дымоудаления по этому нормативному документу представлена в виде архаичной схемы, реализация которой на объекте защиты сопряжена со сложностями инженерного и экономического характера, связанными с прокладкой большой протяженности вентиляционных каналов с нормируемым пределом огнестойкости.

В работе [2] указывается, что применение полноценной приточно-вытяжной системы воздухообмена считается наилучшим вариантом вентиляции на подземной парковке, что подтверждается большим опытом применения подобных систем. Однако в настоящее время в зарубежной практике широко используются системы струйной вентиляции в подземных паркингах. Основное назначение струйной вентиляции – это обеспечение

заданного качества воздуха в паркинге и удаление продуктов горения в случае возгорания.

Струйная вентиляционная система включает собственно струйные вентиляторы, размещенные на потолочных перекрытиях, и приточно-вытяжную (аварийную и штатную) вентиляцию. В настоящее время вентиляторы приточной и вытяжной вентиляции часто совмещают функции противодымной и штатной вентиляции. В этом случае дымоудаление при пожаре является для них режимом максимальной нагрузки, а штатный режим обычно требует мощности вентиляторов равной около 25 % от максимальной [3].

Аварийный режим (пожар) является наиболее ответственным и тяжелым для вентиляционной системы автостоянки, определяющий уровень мощности противодымных приточных и вытяжных вентиляторов, количество и тип струйных вентиляторов [3]. В настоящее время приточно-вытяжная и струйная вентиляция, используемая как в режиме штатной общеобменной вентиляции, так и в аварийном режиме, часто использует реверс воздушного потока [5].

Разработка систем вентиляции в целом является сложным инженерным изысканием, от правильности которого будет зависеть жизнь и здоровье людей, а также сохранность их имущества в виде автомобилей. Как указано в работе [6], основным инструментом, применяемым для проектирования струйных систем вентиляции автостоянок, является численное моделирование, базирующееся на фундаментальных закономерностях механики жидкости и газов.

Облегчить задачу расчета параметров систем призвано различное программное обеспечение, одним из которых является программа Fire Dynamics Simulator (далее FDS), которая реализует гидродинамическую модель (далее CFD) тепло-массопереноса при горении, численно решает уравнения Навье – Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых

поток, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре.

В 6-й версии программы разработчиками добавлена возможность моделирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования, так называемые устройства класса Heating Ventilation Air-Conditioning (далее HVAC), а также алгоритмы переноса опасных факторов пожара через эти системы. Помимо всего прочего при помощи устройств класса HVAC представляется возможным задать непосредственно сам струйный вентилятор и, как следствие, смоделировать работу всей системы в целом в условиях пожара.

Однако открытыми остаются некоторые вопросы, связанные с заданием самого вентилятора, в частности вопрос размера ячейки сетки. Опытным путем установлено, что размер ячеек, необходимый для точного соответствия экспериментальным данным для свободной струи из воздуховода, меньше, чем представляется возможным задать на имеющихся вычислительных мощностях, учитывая

линейные размеры подземных парковок. Отсюда следует логичный вопрос: каков максимально-возможный размер ячейки сетки, позволяющий разумно моделировать струйный вентилятор, но при этом не сказывающийся на результатах моделирования?

Практика проведения моделирования пожара с учетом работы систем противопожарной защиты в зданиях [7] показала, что при моделировании пожара с помощью полевой модели FDS (Fire Dynamics Simulator) требуется значительное время на проведение расчетов, в связи с чем вопрос выбора размера ячейки сетки является одним из важных на начальном этапе построения модели.

Для решения этой задачи была задана упрощенная модель вентилятора в виде отверстия в домене сетки с размерами $0,25 \times 0,25$ м и скоростью подачи струи 18 м/с. Расчет проводился в 5 сетках. При этом размер ячейки сетки был одинаков для всех расчетных доменов, число ячеек сетки варьировалось от 10^{-3} до 10^{-6} м. Расчетная модель представлена на рис. 1.

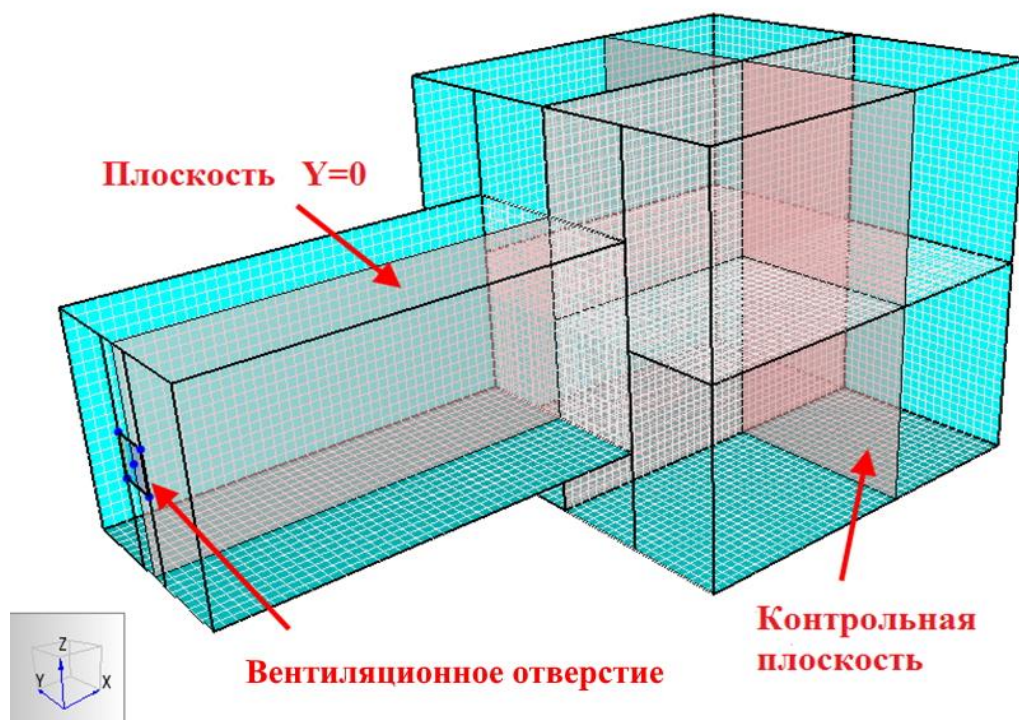


Рисунок 1. Расчетная модель

Поскольку FDS является решением для моделирования больших вихрей (LES), результаты меняются со временем. Все модели были запущены в течение 10 с. Начальный переходный процесс завершается через 2 с, а частоты первичной турбулентности достаточно высоки, поэтому усреднение результатов от 2 до 10 с дает значение, которое представляет собой измерение в устойчивом состоянии. На рис. 1 показано расположение плоскостей $Y=0$ и контрольной плоскости, в ко-

торых будут представлены контуры скорости.

Чтобы визуализировать влияние размера сетки на решение, представим две пары контуров скорости на плоскостях за 5 с. Очевидно, что мелкая сетка показывает наиболее реалистичное развитие слоя сдвига, в то время как результат грубой сетки показывает минимальную турбулентность. На рис. 2 представлена визуализация полученных результатов при различных размерах ячейки сетки.

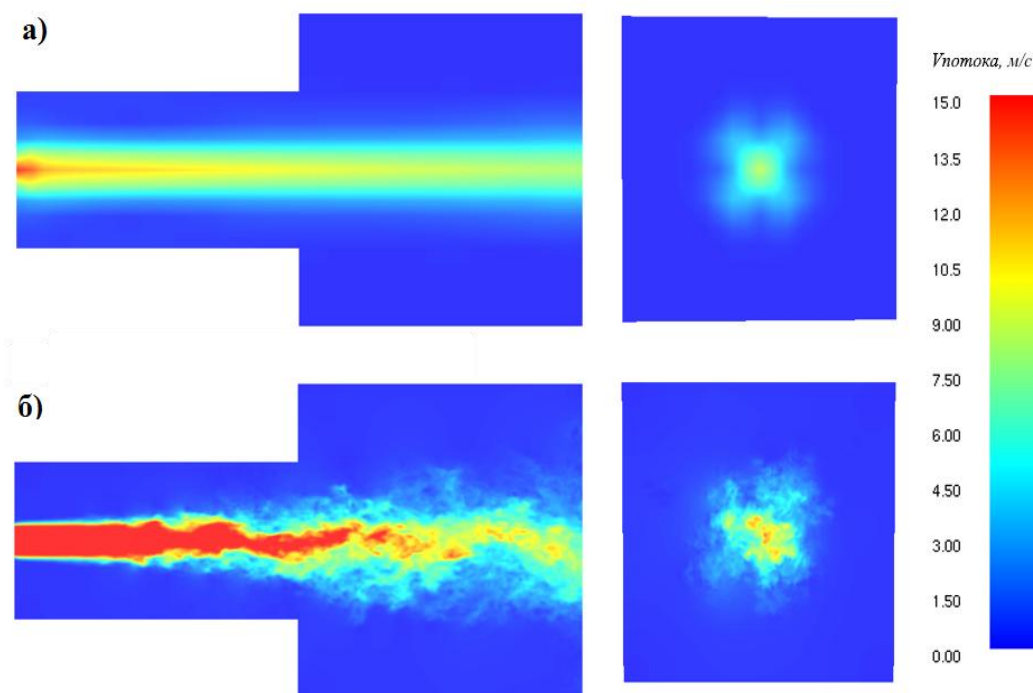


Рисунок 2. Визуализация результатов моделирования:
а – визуализация потока при размере ячейки сетки 0,125 м,
б – визуализация потока при размере ячейки сетки 0,0125 м

Таким образом, если использовать «мелкую» сетку, то FDS достаточно точно моделирует струю воздуха, а если размер ячейки сетки будет слишком грубым, результат моделирования не уловит турбулентность в слое сдвига и предсказанная скорость центральной линии не будет уменьшаться.

Для примера произведен расчет системы однонаправленной струйной вентиляции в режиме дымоудаления подземной автостоянки площадью

$A_{см}=2\ 100,6\ м^2$, расположенной в подвальном этаже жилого дома и отделённой от жилой части противопожарными преградами с нормируемым пределом огнестойкости, размеры в плане 35×60 метров, въезд на парковку осуществляется через открытую въездную рампу.

В соответствии с методикой расчета системы струйной вентиляции подземной автостоянки, выполнен расчет воздухообмена в режиме дымоудаления, приняв проектную тепловую мощность

очага горения Q_n равной 5 МВт (пожар одного автомобиля).

По формуле 7.8 в [8] определена температура газовой смеси:

$$t_m = (t_0 + 273) \left(1 + \frac{D}{V_{кр}} \right) - 273 = (15 + 273) \left(1 + \frac{0,000215}{0,097782} \right) - 273 = 15,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По формуле в [8] вычислена производительность вентиляторов дымоудаления:

$$\begin{aligned} V_x &= 3600 v_1 B Y \frac{(t_m + 273)}{(t_0 + 273)} = \\ &= 3600 \cdot 0,097782 \cdot 27 \cdot 2 \cdot \frac{(15,6 + 273)}{(15 + 273)} = 19\,050,71 \text{ м}^3/\text{ч} \end{aligned}$$

Основываясь на проделанные расчёты, сделаем вывод о необходимости установки четырех одноструйных вентиляторов дымоудаления.

Для дальнейшего моделирования в программе FDS построена модель подземной автостоянки, показанная на рис. 3.

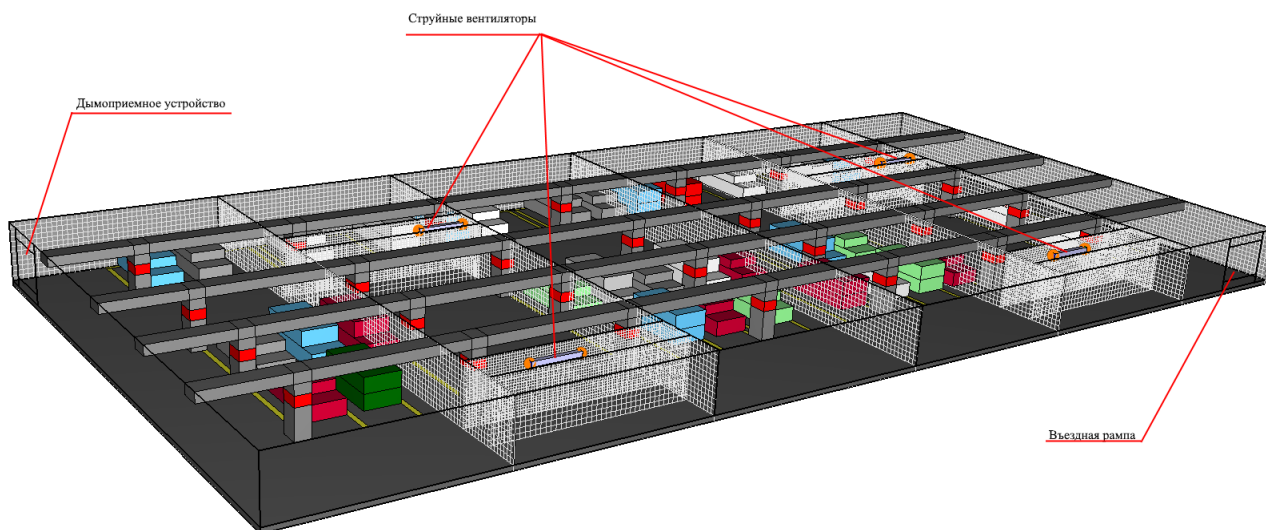


Рисунок 3. Общий вид модели, используемый при моделировании

Для адекватного воспроизведения результатом задано 14 расчетных доменов, различающихся величиной ячейки сетки. Домены, в которых располагался струйный вентилятор, имеют величину ячейки сетки 0,0125 м, прочие домены

0,125 м. Общее число расчетных ячеек сетки – 49 080 000 единиц.

На рис. 4 показаны результаты моделирования работы вентиляции с интервалом времени 20 с.

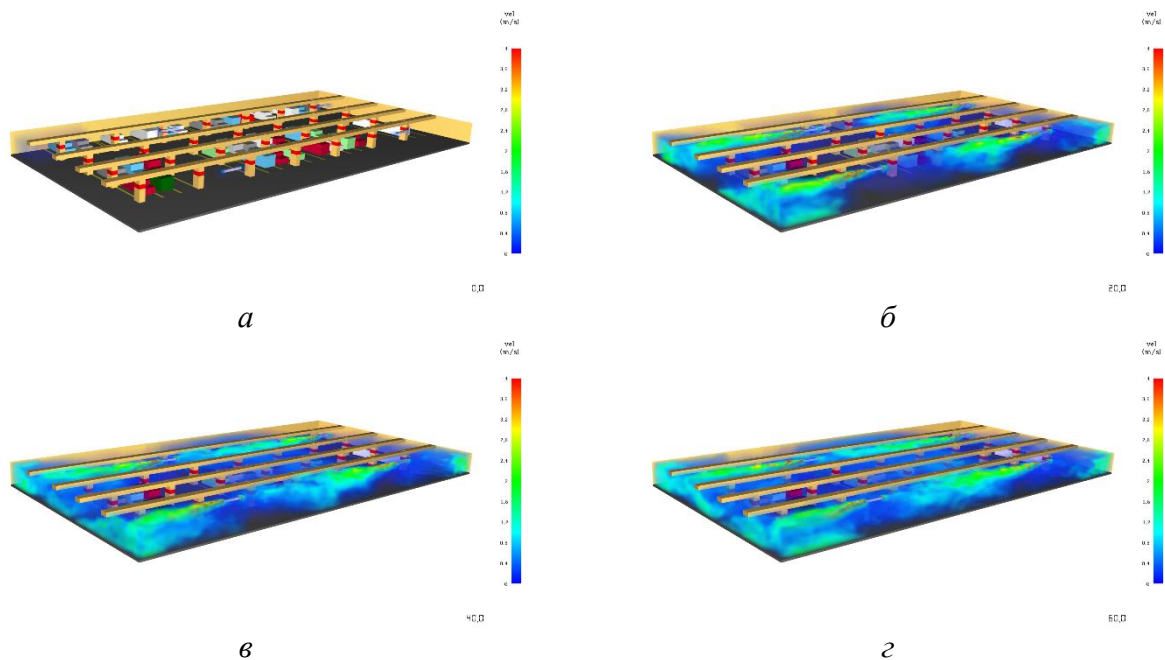


Рисунок 4. Визуализация работы вентиляции в режиме «пожар»:
 а – начальный момент времени; б – 20 секунд с момента начала моделирования;
 в – 40 секунд с момента начала моделирования; г – 60 секунд с момента начала моделирования

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод, что рассмотренная система струйной однонаправленной вентиляции в данном случае справляется со своими задачами, в том числе поддерживает высоту рабочей зоны, не позволяя дыму скапливаться, и переносит продукты горения к дымоприемному устройству.

Следовательно, грамотное применение специального программного обес-

печения позволит провести предварительное моделирование работы систем струйной вентиляции и существенно облегчить задачу расчета параметров систем, и что не менее важно, этот подход позволит визуализировать процесс работы системы, учесть возможное наличие различных инженерных сетей и препятствий, расположенных в припотолочном пространстве.

Литература

1. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности: СП 7.13130: утв. приказом МЧС РФ от 21 февраля 2013 г. № 116: официальное издание. М., 2013.
2. Садохина Н. А. К вопросу о канальной и струйной системе вентиляции подземных автостоянок // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 4 URL: <http://web.snauka.ru/issues/2019/04/89096>.
3. Свердлов А. В. и др. Расчетные методы проектирования продольных струйных систем вентиляции автостоянок закрытого типа // Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetnye-metody-proektirovaniya-prodolnyh-struynyh-sistem-ventilyatsii-avtostoyanok-zakrytogo-tipa>.
4. Волков А. П. Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013, № 8. С. 82–88.
5. Волков А. П., Свердлов А. В. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. 2015. № 1. С. 34–38.
6. Ден Г. Н. Введение в термогазодинамику реальных газов. Курс лекций. СПб., 1998.

7. Колбин Т. С., Казаринов П. В., Шархун С. В. Моделирование пожара с учетом работы систем противопожарной защиты // Техносферная безопасность. 2014. № 4 (5). С. 10–20.

8. Свод правил. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования: СП 300.1325800.2017: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 21 августа 2017 г. № 1145/пр: официальное издание. М., 2017.

References

1. Svod pravil. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. Trebovanija požarnoj bezopasnosti: SP 7.13130: utv. prikazom MChS RF ot 21 fevralja 2013 g. №116: oficial'noe izdanie. M., 2013.

2. Sadohina N. A. K voprosu o kanal'noj i strujnoj sisteme ventiljicii podzemnyh avtostojanok // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. 2019. № 4. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2019/04/89096>.

3. Sverdlov A. V. et al. Raschetnye metody proektirovanija prodol'nyh strujnyh sistem ventiljicii avtostojanok zakrytogo tipa // Holodil'naja tehnik i kondicionirovanie. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetnye-metody-proektirovaniya-prodolnyh-strujnyh-sistem-ventilyatsii-avtostojanok-zakrytogo-tipa>.

4. Volkov A. P. Prodol'naja sistema dymoudalenija v podzemnyh sooruzhenijah, osnashennyh strujnymi ventiljacionnymi sistemami // S.O.K. Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie. 2013. № 8. S. 82–88.

5. Volkov A. P., Sverdlov A. V. Revers vozdušnogo potoka pri prodol'noj ventiljicii i dymoudalenii podzemnyh i krytyh avtostojanok // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie. 2015. № 1. S. 34–38.

6. Den G. N. Vvedenie v termogazodinamiku real'nyh gazov. Kurs lekcij. SPb., 1998.

7. Kolbin T. S., Kazarinov P. V., Sharhun S. V. Modelirovanie požara s uchetom raboty sistem protivopozharnoj zashhity // Tehnosfernaja bezopasnost'. 2014. № 4(5). S. 10–20.

8. Svod pravil. Sistemy strujnoj ventiljicii i dymoudalenija podzemnyh i krytyh avtostojanok. Pravila proektirovanija.: SP 300.1325800.2017: utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 21 avgusta 2017 g. №1145/pr : oficial'noe izdanie. M., 2017.