

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-1.67>

УДК 614.844.2:699.814

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СПРИНКЛЕРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Ощепков А.М., Грачулин А.В., Потеряев Ю.К., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О.

Цель. Разработка и обоснование предложений по совершенствованию методики гидравлического расчета спринклерных автоматических установок пожаротушения.

Методы. Моделирование, проектирование, гидравлические расчеты, многофакторная оптимизация.

Результаты. Предложен модернизированный метод расчета производительности оросителей.

Область применения исследований. Полученные результаты могут применяться при разработке норм проектирования спринклерных автоматических установок пожаротушения, отдельные положения могут быть использованы при проектировании спринклерных автоматических установок пожаротушения в рамках действующих норм.

Ключевые слова: автоматическая установка спринклерного пожаротушения, спринклерный ороситель, расстояние между оросителями, интенсивность орошения, площадь пожара, гидравлический расчет.

(Поступила в редакцию 5 января 2021 г.)

Введение

Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. определяет гармонизацию национальных ТНПА с международными. На основании сопоставления различных методик гидравлического расчета спринклерных автоматических установок пожаротушения (далее – МГР АУП) показано, что действующая в Беларуси МГР нуждается в гармонизации, поскольку имеет настолько существенные отличия от зарубежных методик, что затрудняет реализацию инвестиционных проектов с зарубежным капиталом и приводит к неоптимальным проектным решениям, которые неоправданно удорожают АУП.

Спринклерные АУП предназначены для локализации и (или) ликвидации пожара и одновременно с этим могут выполнять функции автоматической пожарной сигнализации¹. При этом АУП должны быть экономичными и эффективными², что подразумевает минимизацию их материалоемкости, стоимости монтажа и обслуживания при оптимизации расхода огнетушащего вещества (далее – ОТВ), обеспечивающего гарантированное подавление возгорания и предотвращение объемного развития пожара.

Свидетельства об эффективности спринклерных АУП различаются, причем, несмотря на то, что до 80 % возгораний подавляется единственным спринклером [1], отечественные и зарубежные авторы указывают, что для достижения эффективности спринклерных АУП 95–97 % на крупных объектах в расчет требуется включить не менее 36–40 оросителей [2; 3].

Задача гидравлического расчета спринклерных АУП сводится к установлению параметров водопитателя в зависимости от оптимального значения потерь напора спринклерной сети, которая включает спринклеры, трубопроводы, фитинги, запорную арматуру, узлы управления, дозаторы, фильтры и т.д.

Расчетный расход ОТВ определяется количеством спринклеров на расчетной площади и их производительностью. Расчетная площадь имеет форму многоугольника и находится в районе наиболее удаленного от водопитателя и высокорасположенного (диктующего) оросителя. Интенсивность орошения из близко и низко расположенных к водопитателю спринклерных оросителей будет больше, нежели у наиболее отдаленных и высокорасположенных, вследствие чего и количество вскрываемых спринклеров будет меньше [4].

Принцип МГР АУП заключается в последовательном нахождении потерь напора и расходов ОТВ в узлах спринклерной сети по мере приближения от диктующего оросителя

¹ Система стандартов безопасности труда. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования: ГОСТ 12.3.046-91. – Введ. 01.01.93. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.

² Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М.: Стандартинформ, 2006. – 68 с.

к водопитателю. Объемный расход $Q_{ор}$ (л/с) распыляемого спринклером ОТВ определяется по формуле:

$$Q_{ор} = k\sqrt{H}, \quad (1)$$

где k – коэффициент производительности, л / (с · м^{0,5}); H – напор, м.

Величина k , зависящая от диаметра сопла и конструкции оросителя, является паспортной и может быть определена по формуле:

$$k = \mu\omega\sqrt{2g}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент расхода отверстия, безразмерная величина; ω – площадь отверстия, м²; g – ускорение свободного падения, м/с².

В европейской МГР расход по формуле (1) считается в л/мин, а давление в бар, при этом выражение (2) именуется K -фактором (л / (мин · бар^{0,5})).

Для выбора k и определения H необходимо определить нормативную интенсивность орошения I_n и расчетную площадь оросителя F_p , т.е. долю защищаемой площади, приходящуюся на один спринклер. F_p зависит от расстановки оросителей и при симметричной расстановке спринклеров имеет форму квадрата или прямоугольника [5–10] (рис. 1).

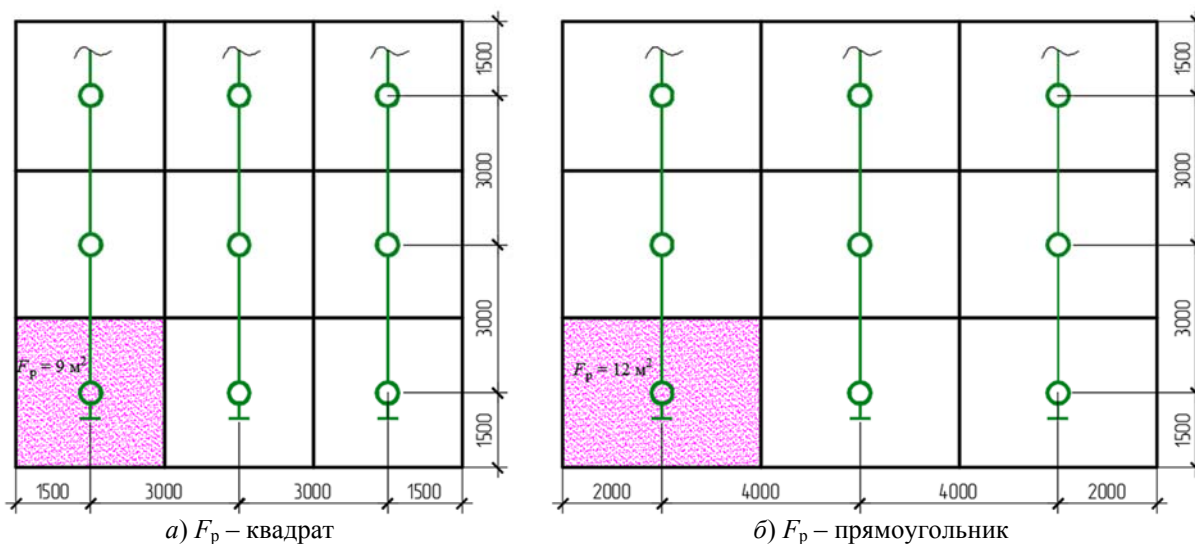
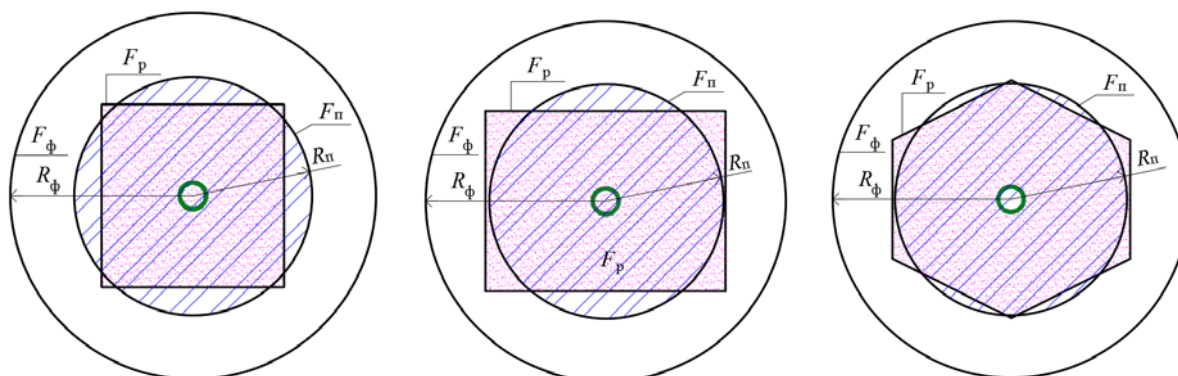


Рисунок 1. – Формы расчетной площади

В работах [6; 11] показано, что обычно расстояние между оросителями предусматривают с учетом принятого в промышленной архитектуре шага между колоннами (6×6 м). При расчетной площади на один ороситель 9 м² расстояние между рядками и оросителями принимается равным 3 м, а при расчетной площади 12 м² расстояние между оросителями принимается 3 м, а между рядками 4 м (рис. 2).

Для нахождения минимально допустимого расхода диктующего оросителя $Q_{мин}$ достаточно расчетную площадь F_p умножить на нормативную интенсивность орошения I_n , а затем по формуле (1) необходимо определить фактический расход диктующего оросителя $Q_{дикт}$ из условия, что он должен быть больше либо равен минимально допустимому $Q_{мин}$, для чего итерациями необходимо подобрать рабочий напор H для оросителя с заданным k .

Фактическая площадь орошения $F_{ф}$ зависит от конструкции оросителя, давления, высоты расположения оросителя, вида ОТВ. При вертикальном расположении оросителя она имеет форму круга и всегда превышает расчетную F_p , имеющую форму многоугольника (не только прямоугольника и квадрата), и паспортную F_n , имеющую форму круга (рис. 2).



а) F_p – квадрат

б) F_p – прямоугольник

в) F_p – многоугольник

Рисунок 2. – Взаимное позиционирование фактической площади орошения F_ϕ , паспортной защищаемой площади F_n и расчетной площади F_p оросителя (R_ϕ, R_n – соответствующие радиусы)

Необходимо отметить: если использовать спринклеры с малым фактическим радиусом орошения R_ϕ на расчетной площади $F_p = 12 \text{ м}^2$ и максимально регламентированном расстоянии между оросителями $l_n = 4 \text{ м}$, что, например, выполняется при сетке оросителей $3 \times 4 \text{ м}$, на всей защищаемой площади помещения F_z будут отсутствовать неорошаемые зоны (рис. 3).

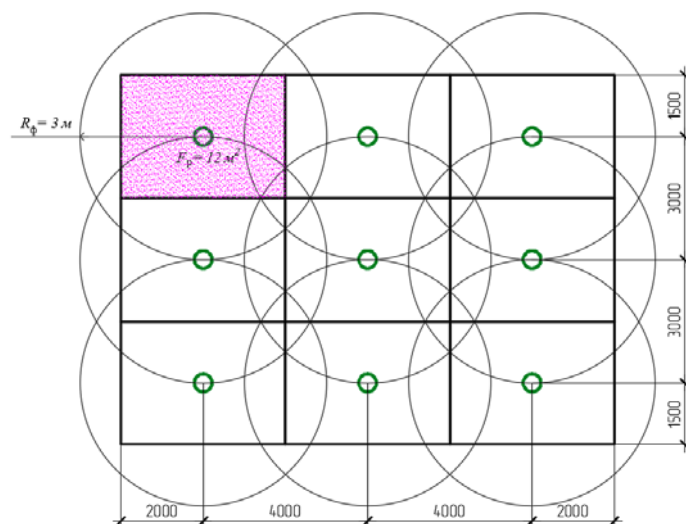


Рисунок 3. – Карта орошения при $R_\phi = 3 \text{ м}$

Площадь орошения и интенсивность распределения ОТВ $I_{\text{отв}}$ внутри факела распыла у оросителей значительно различаются. Некоторые авторы предполагали [9; 10], что более эффективным будет ороситель, подающий максимальный расход на паспортную защищаемую площадь спринклера (рис. 3), что характеризуется коэффициентом использования ОТВ [12]:

$$\eta = Q_n / Q_{\text{ор}}, \quad (4)$$

где Q_n – расход, приходящийся на паспортную защищаемую площадь, л/с.

Другие авторы [12], напротив, предполагали, что в условиях неопределенности места расположения возможного очага пожара относительно схемы расстановки оросителей, целесообразно применение спринклеров с широким факелом распыла.

Когда I определяется на паспортной защищаемой площади единственного диктующего оросителя, то широкий факел распыла означает существенное снижение величины η , что, в свою очередь, приводит к завышенному расчетному расходу АУП.

Таким образом, задача оптимального проектирования АУП является многофакторной, при этом можно выделить ключевой параметр, определяющий расход ОТВ и материалоемкость АУП – нормативная интенсивность орошения I_n в наиболее удаленной от водопитателя зоне защищаемого объекта (диктующей). Сегодня существуют два принципиально различных подхода к обеспечению заданной интенсивности при проектировании АУП: либо она должна обеспечиваться факелом распыла единственного диктующего оросителя (МГР 1), либо в среднем превышать нормативную на всей защищаемой площади и дикто-

ваться несколькими ближайшими оросителями в наиболее проблемной зоне (МГР 2). Первый подход действует в Российской Федерации с 2009 г.³ и Республике Беларусь с 2016 г.⁴, второй подход широко используется в зарубежных стандартах^{5, 6}, а также, что примечательно, успешно применялся ранее в советских МГР АУП^{7, 8}.

Выполнение действующей в Республике Беларусь МГР-1, в которой I_n создается единственным оросителем, вынуждает завышать расход оросителя – причем настолько существенно, что нормативные расчетные площади пожара пришлось вдвое сократить, чтобы обеспечить приемлемый максимальный расход и сохранить разумную энергетику АУП. На практике данный подход ведет к увеличению числа оросителей и, следовательно, секций, т.е. приводит к удорожанию АУП и снижению ее надежности вследствие усложнения системы. Данная статья показывает целесообразность применения МГР-2 как гарантированно обеспечивающего нормативную интенсивность орошения на максимальной площади и позволяющего оптимизировать АУП по критериям эффективности и экономичности.

Основная часть

Современный подход к выбору оросителей состоит в том, что в зависимости от характеристик защищаемого объекта и пожарной нагрузки применяются различные типы оросителей, формирующие наиболее подходящий факел распыла с заданной дисперсностью ОТВ (от субмикронного аэрозоля до крупных капель диаметром порядка 1–5 мм). Зарубежные производители в технической документации на спринклеры указывают соответствующие зоны опасности. Например, спринклеры с увеличенным радиусом орошения предназначены для защиты больших площадей, чем указано в правилах установки стандартных спринклеров, и одобрены для легких, обычных и особо опасных помещений в принятой зарубежной классификации. Или другой пример, «жилые» спринклеры, предназначенные для защиты домов, квартир, студенческих общежитий и некоторых отелей, специально разработаны для отвода воды выше по стенам, чтобы поддерживать более низкую температуру потолочного газа при пожаре, что помогает предотвратить вспышку и тем самым повысить вероятность выживания человека. Это обеспечивает высокую эффективность АУП, оптимизацию расхода ОТВ и, следовательно, минимизацию материалоемкости и стоимости АУП.

Следует отметить, что напор перед диктующим оросителем в зависимости от числа вскрытых спринклеров может отличаться в несколько раз. Обычно на расчетном (максимальном) расходе трубопроводы АУП работают в области квадратичных сопротивлений при числах Рейнольдса порядка 10^5 и более, поскольку с целью сокращения материалоемкости системы в трубах допускается скорость движения воды до 10 м/с. Исходя из практического опыта отметим, что оптимальная скорость ОТВ в питающих трубопроводах АУП составляет около 2–4 м/с. Хотя в случае срабатывания единственного спринклера режим течения изменится, потери напора примерно можно оценить как часть $(1/N)^2$ от полных потерь на расчетном режиме (где N – количество спринклеров на расчетной площади). Насос при этом станет работать в области максимального напора, и перед спринклером будет напор, примерно равный максимальному напору насоса за вычетом пьезометрической разницы высот между оросителем и верхним уровнем воды в резервуаре, поскольку гидравлические потери весьма малы. Расход ОТВ через спринклер в этом случае оказывается в 1,5–2 раза выше, чем при расчетной нагрузке АУП (при вскрытии всех оросителей на расчетной площади), особенно если речь идет о диктующем оросителе в системе с сотнями спринклеров. Следовательно,

³ Система противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: СП 5.13130.2009. – Введ. 01.05.09 – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 103 с.

⁴ Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования = Пажарная аўтаматыка будынкаў і збудаванняў. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-2.02-190-2010 (02250). – Введ. 01.06.12 (изм. № 4 от 01.08.2016). – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 82 с.

⁵ NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems [Electronic resource] / National Fire Protection Association. – Quincy: National Fire Protection Association, 2019. – Mode of access: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=13>. – Date of access: 04.01.2021.

⁶ Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance is classified in these ICS categories: UNE EN 12845:2016. – Released: 22.10.2016 – European Committee for Standardization, 2015. – 211 p.

⁷ Инструкция по проектированию установок автоматического пожаротушения: СН 75-76 утв. Гос. Комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 26.04.1976 № 52. – М.: Стройиздат, 1977. – 34 с.

⁸ Пожарная автоматика зданий и сооружений: СНиП 2.04.09-84. – Введ. 01.07.85. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 48 с.

единственный вскрывшийся диктующий спринклер создает избыточную интенсивность орошения, что вполне справедливо и для случая срабатывания нескольких спринклеров. Это является важным аргументом в пользу того, что проектирование АУП по МГР-2 не снижает вероятности быстрого подавления очага возгорания в наиболее удаленной от насоса зоне. При полной же нагрузке у оптимально спроектированной по этой методике АУП средняя интенсивность орошения расчетной площади пожара превышает нормативную на 10–15 %, а не в 2–3 раза, как это происходит при расчете по действующей в Республике Беларусь МГР-1.

Определение расхода по расчетной площади F_p позволяет учесть весь объемный расход, а также сгладить множество неопределенностей, присущих гидравлическому расчету АУП:

- неравномерность эпюры орошения спринклера;
- зависимость фактической интенсивности орошения от высоты расположения оросителя над очагом возгорания;
- влияние давления перед спринклером на эпюру орошения;
- многовариантность размещения спринклеров как по высоте, так и под углом к очагу возгорания;
- неравномерность и неопределенность размещения пожарной нагрузки и др.

Отметим, что сами значения нормативной интенсивности орошения определены усредненными и с большим запасом, причем с учетом того, что часть ОТВ не участвует в тушении, испаряясь, не достигает очага пожара или вытекает из зоны горения [13].

Крупные промышленные и гражданские объекты, защищаемые спринклерными АУП, имеют следующие особенности:

- высота помещений – до 20 м;
- наличие светоаэрационных фонарей;
- сложная форма перекрытий, наличие ферм, балок, ригелей, уклонов;
- разветвленная сеть инженерных коммуникаций;
- неравномерное распределение пожарной нагрузки.

Развитие пожара в таких помещениях сопровождается возникновением интенсивных конвективных потоков и быстрым распространением огня, а вскрытие спринклеров может произойти в стороне от очага возгорания. По данным причинам с точки зрения эффективности АУП сокращать расчетную площадь нецелесообразно.

Таким образом, расчет АУП по МГР-2 позволяет оптимизировать конструкцию установки – минимизировать ее материалоемкость и стоимость в расчете на 1 м² защищаемой площади, с хорошим запасом гарантируя обеспечение нормативной интенсивности орошения как в случае работы единственного диктующего оросителя, так и при орошении всей расчетной площади.

Действующий в Республике Беларусь подход к расчету АУП заключается в том, что производительность спринклера определяется по паспортной защищаемой площади F_n , имеющей форму круга⁹, причем расход, попадающий за пределы F_n , не учитывается в тушении. При этом данный подход вынуждает сокращать расстояние между спринклерами (рис. 4).

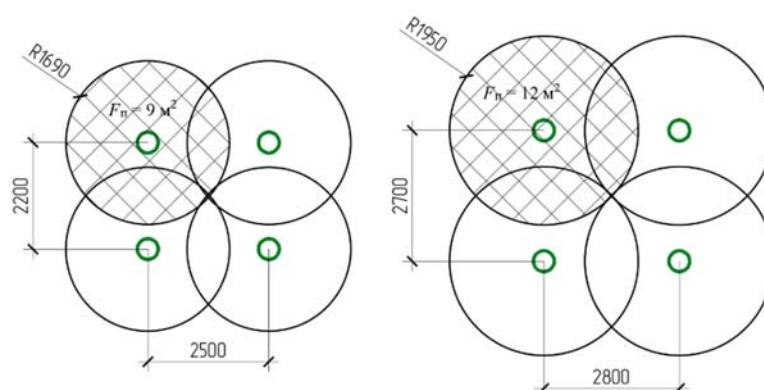


Рисунок 4. – Расстояние между спринклерами с учетом их паспортных защищаемых площадей $F_n = 9 \text{ м}^2$ и $F_n = 12 \text{ м}^2$

⁹ Система стандартов пожарной безопасности. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011/ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 01.01.12. – Минск: БелГИСС, 2011. – 33 с.

Это является следствием формального толкования действующей МГР-1, согласно которой при расстановке оросителей с максимально регламентированными ранее расстояниями 3 и 4 м образуются так называемые мертвые зоны (рис. 5, заштрихованы), в которых интенсивность орошения не подтверждена сертифицированными испытаниями и может быть ниже нормативной [14].

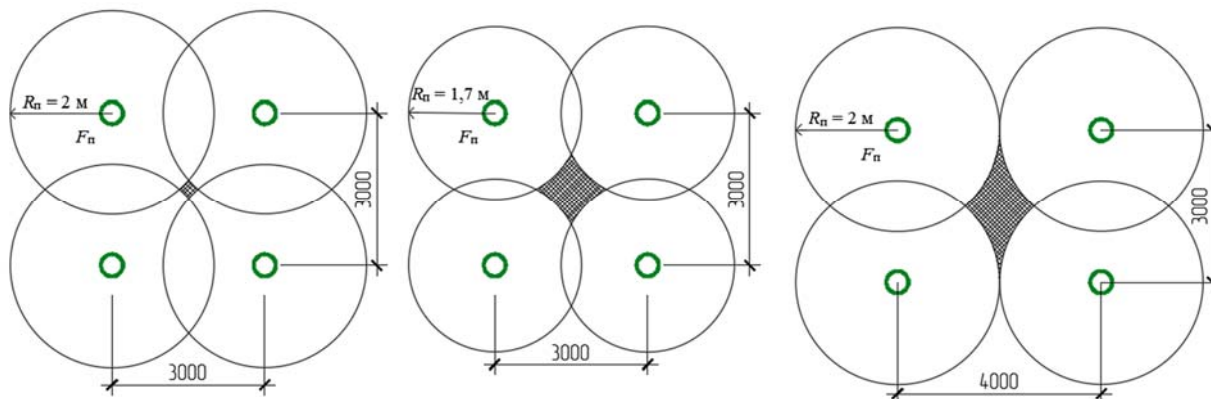


Рисунок 5. – Расстановка оросителей с максимально регламентированными ранее расстояниями 3 и 4 м с соблюдением паспортных защищаемых площадей $F_n \approx 9 \text{ м}^2$ ($R = 1,7 \text{ м}$) и $F_n \approx 12 \text{ м}^2$ ($R = 2 \text{ м}$)

Однако в действительности, поскольку $F_{\phi} \gg F_n$, в данных зонах интерферируют факелы распыла 4 рядом расположенных оросителей (рис. 3), причем средняя интенсивность орошения на защищаемой ими площади оказывается заметно выше нормативной.

В новом российском своде правил¹⁰ установлено следующее: «за нормативную интенсивность орошения принимают интенсивность только диктующего оросителя в пределах площади круга 12 м^2 (радиус 2 м) без определения интенсивности в остальных частях защищаемой площади (т.е. в серединной части пространства между четырьмя оросителями интенсивность не принимают во внимание)». Данное важное уточнение позволяет расставлять оросители на расстояниях, равных и близких к ранее принятым оптимальным значениям, вплоть до максимально установленных в данном документе: 3,5 м для помещений групп 1–4.1 и 3 м для помещений групп 4.2–7.

Основанием для выбора оросителя служат его паспортные характеристики (рис. 6)¹¹.

По подобным графикам проектировщики определяют давление, которое необходимо создать у спринклера с заданным k для обеспечения нормативной интенсивности орошения I_n . Итоговое значение средней интенсивности орошения $I_{\text{ср}}$ на расчетной площади пожара $F_{\text{пож}}$ может в 2 раза и более превышать нормативное значение.

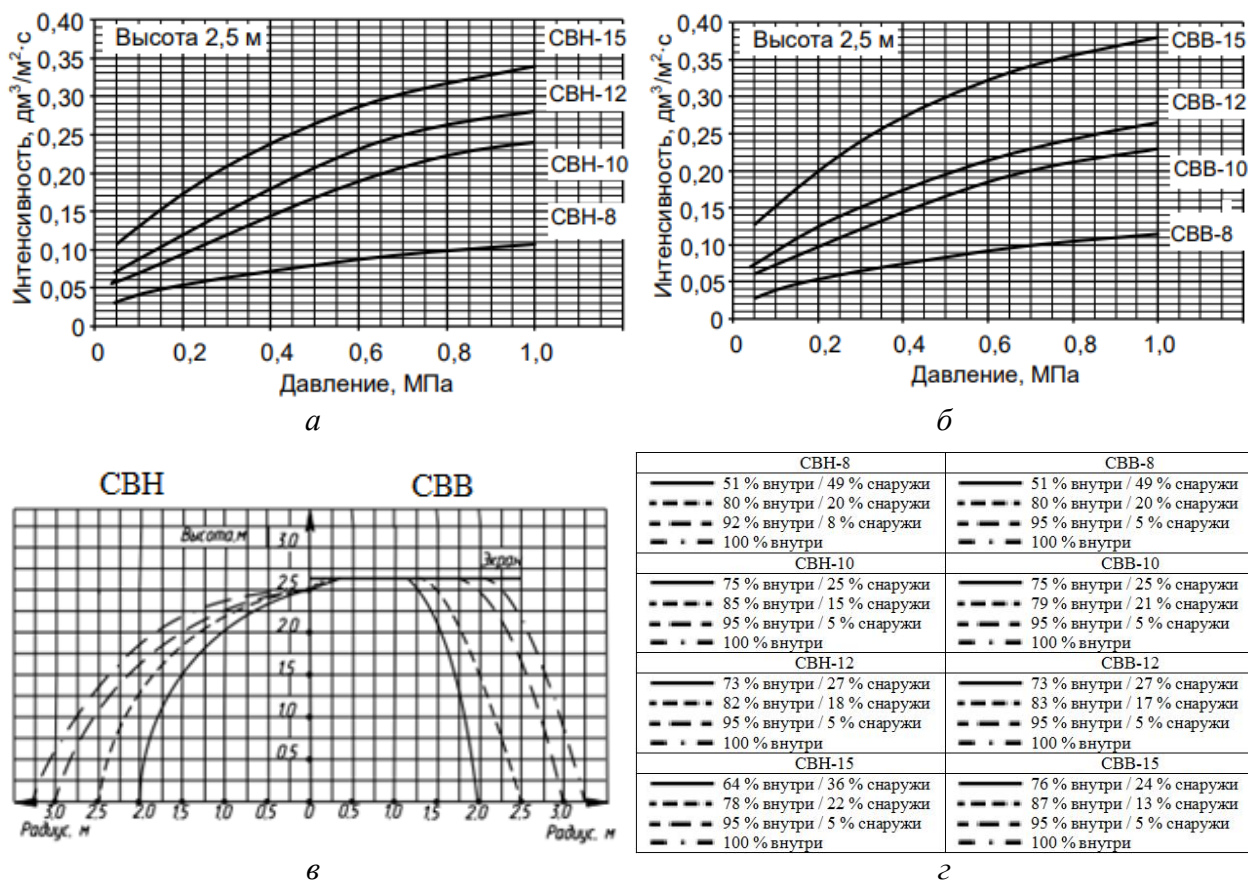
Завышение расхода АУП повлекло вынужденное сокращение расчетных площадей пожара, которые оказались в 2 раза меньше, чем в отмененных отечественных нормативах и в 2–2,5 раза меньше, чем в европейских и американских стандартах при сопоставимых интенсивностях орошения.

Анализ практики проектирования, строительства и эксплуатации АУП выявил существенные недостатки данного подхода:

1. Диаметры распределительных трубопроводов увеличились на 1–2 калибра, что сказалось не только на материалоемкости АУП, но и на инерционности воздушных систем.
2. Требуемый напор водопитателя увеличился до значений, близких к предельно допустимому, что повлекло необходимость строительства повышающих насосных станций в системах, которые могли бы работать от водопроводной сети.
3. Потребовалось уменьшать расстояние между оросителями, из-за чего рядки не вписываются в стандартный шаг пролетов и расстановка оросителей оказывается не оптимальной и влечет увеличение их количества.

¹⁰ Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: СП 485.1311500.2020 – Введ. 01.03.21. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021. – 36 с.

¹¹ Ороситель спринклерный водяной «СВВ», «СВН»: Паспорт ДАЭ 100.203.000-02 ПС. – Бийск: ЗАО «ПО «СПЕЦАВТОМАТИКА», 2013. – 413 с.



а, б – графики зависимости интенсивности орошения от давления для оросителей модификации СВН (спринклерный водяной розеткой вниз) и СВВ (спринклерный водяной розеткой вверх) соответственно; в – эпюра орошения спринклеров; з – распределение интенсивности

Рисунок 6. – Паспортные характеристики оросителя

4. Вследствие неоптимальной расстановки оросителей, несмотря на сокращение расчетной площади пожара, увеличивается общий расход ОТВ, что требует строительства резервуаров большего объема.

5. Поскольку число спринклеров в секции нормативно ограничено, на крупных объектах с увеличением количества оросителей возросло и число секций (направлений при использовании сигнализаторов потока жидкости), а также общая длина трубопроводов.

6. Вследствие увеличения мощности насосов возросла энергоемкость АУП, что повлекло проблемы с энергообеспечением и удорожание резервных дизель-генераторов. С целью сохранения прежней энергоемкости модернизируемых АУП на многих объектах приходится применять воду со смачивателем с установкой дорогостоящих дозирующих устройств.

7. На некоторых объектах, где ранее применялись оросители общего назначения, приходится устанавливать значительно более дорогие оросители спецназначения (ESFR).

8. АУП, принятые в эксплуатацию до 2016 г., не соответствуют действующим нормам, и при их модернизации необходима практически полная замена оборудования насосной станции, распределительных трубопроводов и оросителей в защищаемых помещениях.

9. Расчет по МГР-1 не позволяет при необходимости выполнить замену оросителей разных производителей, поскольку при одинаковом коэффициенте производительности фактические характеристики спринклеров различаются.

10. Паспортные эпюры орошения даются до высоты 2,5 м при вертикальной оси факела распыла и при испытательных давлениях, а отличия фактической высоты, угла наклона и давления приводят к существенному изменению интенсивности орошения на расчетной площади.

11. Чрезмерный расход ОТВ увеличивает косвенный ущерб от его воздействия.

12. Применение МГР-1 существенно затрудняет реализацию инвестиционных проектов, основанных на Европейской нормативной базе.

Действующая зарубежная МГР обеспечивает более высокую достоверность расчета АУП, чем прежняя отечественная методика, хотя обе основаны на нахождении доли расчетной площади пожара, приходящейся на один спринклер. Отличия зарубежной МГР состоят в том, что:

- вычисляется минимальный возможный расход каждого оросителя, а не только диктующего;
 - выполняется осреднение значения интенсивности орошения для группы из четырех ближайших оросителей;
 - разбиение расчетной площади выполняется на различные многоугольники, а не только на прямоугольники и квадраты, что имеет место на реальных объектах при расстановке оросителей с учетом балок, светильников и других препятствий.
- Следует отметить и другие отличия зарубежной методики от отечественной:
- иная классификация помещений;
 - нормативные интенсивности орошения отличаются, но близки к СН 2.02.03-2019 для аналогичных объектов;
 - нормативные площади пожара в 2–2,5 раза выше, чем в действующем СН 2.02.03-2019;
 - продолжительность тушения пожара для водяных АУП варьируется иначе;
 - расчетные площади пожара определяются в благоприятных и неблагоприятных гидравлических условиях работы сети, а не только в наиболее удаленной от водопитателя зоне;
 - выполняется точный гидравлический расчет потерь в местных сопротивлениях, а не вводится осредненная добавка;
 - детализированы особые требования для специальных опасностей (Early Suppression Fast-Response (ESFR) Sprinkler, Control Mode Specific Application (CMSA) Sprinkler, Control Mode Density / Area (CMDA) Sprinkler);
 - имеются указания по подбору оптимальной рабочей точки насоса;
 - даны указания по точности вычислений, допустимым невязкам давлений в узловых точках при гидравлическом расчете кольцевых систем.
 - гидравлическое сопротивление шероховатых труб рассчитывается по формулам как Хазена – Вильямса, так и Дарси – Вейсбаха [15].

Если принимать данные отличия, то будет обеспечена рациональная расстановка оросителей, эффективная защита объекта и оптимизация конструкции АУП.

К сожалению, многочисленные труды разработчиков прошлой отечественной МГР АУП не нашли подробного изложения в нормативной документации в части порядка определения расхода диктующего оросителя, поэтому приведем предложения по модернизации МГР, взяв за основу зарубежные и отечественные методики.

1. Расчетную площадь F_p каждого оросителя следует определять следующим образом: провести срединные перпендикуляры к отрезкам, соединяющим ближайшие оросители, продлив их до пересечения с другими такими перпендикулярами или границей защищаемой зоны (в случае размещения оросителя у границы защищаемой зоны, например стены). Площадь многоугольника, образованного ближайшими к оросителю указанными перпендикулярами и участками границы защищаемой зоны, и будет расчетной площадью F_p этого оросителя (рис. 7).

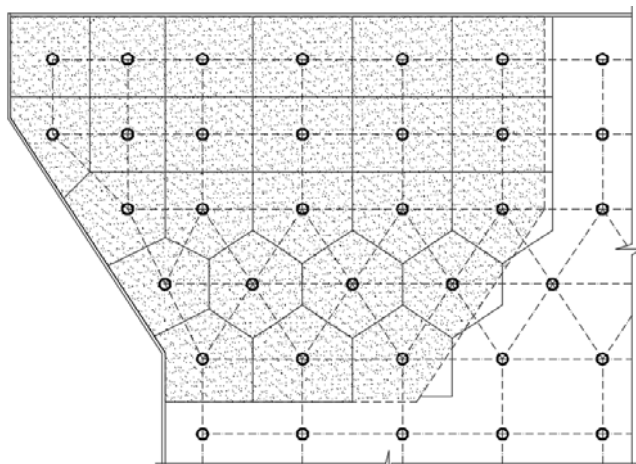


Рисунок 7. – Определение расчетной площади каждого оросителя

2. Минимальный допустимый расход каждого оросителя Q_{\min} следует определять по формуле:

$$Q_{\min} = I \cdot F_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где I – нормативная интенсивность орошения, л / (с · м²); $F_{\text{ср}}$ – наибольшее среднее арифметическое четырех значений F_p , найденных для одного оросителя и трех ближайших к нему оросителей, м²; если количество спринклеров, которые свободно соединены между собой, меньше 4, то $F_{\text{ср}}$ принимается по наибольшему F_p .

3. В приближенных расчетах (без использования специализированного программного обеспечения) минимально допустимый расход диктующего оросителя $Q_{\text{дикт(мин)}}$ допускается принимать равным максимальному значению Q_{\min} .

4. Расход оросителя $Q_{\text{ор}}$ следует определять по формуле (1).

5. Расстановку оросителей следует выполнять исходя из одновременного выполнения следующих условий:

а) расстояние по горизонтали между спринклерными оросителями должно не превышать максимально установленное для конкретного типа оросителя, для оросителей общего назначения – 4 м для помещений групп 1–4.1, 3 м – для помещений групп 4.2–7;

б) расстояние по горизонтали между спринклерными оросителям должно быть не менее 1,5 м;

в) расстояние по горизонтали от ближайших спринклерных оросителей до стен должно быть не более 2 м для помещений групп 1–4.1, 1,5 м – для помещений групп 4.2–7;

г) расчетная площадь F_p каждого оросителя должна не превышать установленной для конкретного типа: для оросителей общего назначения – 12 м² для помещений групп 1–4.1, 9 м² – для помещений групп 4.2–7;

д) с учетом высоты помещения, уклона потолка (наклона спринклеров к очагу возгорания), эпюр орошения, препятствий должен орошаться каждый квадратный метр защищаемой площади со средней интенсивностью не ниже нормативной.

Далее для оценки количественных различий представленных выше МГР проведено технико-экономическое сравнение параметров АУП для одной секции на реальном объекте. Стоит отметить, что применение зарубежной методики требует итерационных вычислений с применением специализированного программного обеспечения, в связи с чем в сравнении она не представлена. Характеристики типового промышленного объекта (исходные данные) представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Характеристики типового промышленного объекта

Наименование объекта	Цех вулканизации
Защищаемая площадь	6938 м ²
Высота помещения	18,2 м
Перечень горючих материалов	Резинотехнические изделия
Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности	В1
Группа помещения	3
Класс функциональной пожарной опасности	Ф.5.1
Класс зоны ПЭУ	П-Па
Относительная влажность при нормальных условиях	≤ 80 %
Скорость воздушных потоков	0,1–0,3 м/с
Пределы температур	от +16 до +21 °С
Конструктивные особенности защищаемого помещения	Сложная форма перекрытия, наличие уклонов, ферм, балок, светоаэрационных фонарей
Максимальная рабочая температура окружающей среды в зоне расположения спринклерных оросителей	Свыше 38 до 50 °С включительно, в зоне расположения светоаэрационных фонарей возможно скопление нагретого воздуха, воздействие солнечной тепловой радиации на тепловой замок спринклера и достижение температуры до 70 °С включительно
Тип вентиляции	Приточно-вытяжная с естественным и искусственным побуждением
Нормативный расход на пожарные краны	2 струи по 5 л/с

Поскольку МГР-1, действующая в РФ, позволяет сохранить оптимальную расстановку оросителей, то включим ее в сравнение. Результаты расчетов АУП по различным вариантам МГР представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты расчетов

Параметры расчета	Результаты расчета по различным МГР		
	МГР-1		МГР-2
	по СН 2.02.03-2019	по СП 485.1311500.2020	модернизированная
Определяющий фактор при расстановке оросителей	Отсутствие зон, непокрытых F_n (рис. 4)	$l_{i-j} \leq l_n$ (рис. 5)	$\begin{cases} l_{i-j} \leq l_n, \\ F_p \leq F_n \end{cases}$
Нормативная площадь пожара для гидравлического расчета $F_{\text{пож}}$, м ²	180		360
Вид ОТВ	Вода с добавлением смачивателя WA с концентрацией 0,5 %		
Нормативная интенсивность орошения I_n , л / (с·м ²)	0,24 (принимается в 1,5 раза меньше, чем для воды)		
Паспортная защищаемая площадь F_n , имеющая форму круга, м ²	12		
Расчетная площадь F_p , имеющая форму многоугольника, м ²	6,0	9,0	9,15
Максимальная нормативная расчетная площадь F_n , имеющая форму многоугольника, м ²	Для расчета не требуется		12
Максимальное нормативное расстояние между оросителями, м	Не установлено	3,5	4,0
Минимально допустимый расход 1 оросителя, л/с	Для расчета не требуется		$I_n \cdot F_p = 2,20$
Принятый по проекту тип оросителя	СВВ-15		СВВ-K115
Коэффициент производительности оросителя, л / (с·м ^{0,5})	0,77		0,60
Требуемый напор у диктующего оросителя, м	30		14
Расход диктующего оросителя, л/с	4,217		2,24
Продолжительность подачи ОТВ, мин	60		
Количество оросителей на расчетной площади пожара N , шт.	30	20	40
Количество оросителей под перекрытием, шт.	1088	768	768
Количество оросителей под технологическими площадками и воздуховодами, шт.	29	29	29
Общее количество оросителей в секции, шт.	1117	797	797
Максимальное нормативное количество оросителей, шт.	1200 (с использованием сигнализаторов потока жидкости, что потребовало разбить секцию по двум направлениям)	800 (дополнительных устройств для идентификации не потребовалось)	
Расчетный расход на спринклеры, л/с	140,5	93,6	99,1
Средняя интенсивность на расчетной площади пожара, л / (с·м ²)	0,78	0,52	0,27
Превышение средней интенсивности над нормативной, %	225,0	116,6	12,5
Количество пожарных кранов, шт.	32	32	32

Продолжение таблицы 2

Параметры расчета	Результаты расчета по различным МГР		
	МГР-1		МГР-2
	по СН 2.02.03-2019	по СП 485.1311500.2020	модернизированная
Расчетный расход на пожарные краны, л/с	13,8	13,8	13,8
Количество вводов в секцию	Два ввода, 2-й ввод осуществлен от смежной секции		
Суммарный расчетный расход секции, л/с	154,3	107,4	112,9
Условный диаметр трубопроводов, мм (длина): a – питающих; b – распределительных; c – всасывающих; d – подводящих	a. DN150 (483 м), DN100 (649 м); b. DN50 (2100 м), DN65 (231 м); c. DN300 (35 м); d. DN250 (90 м)	a. DN150 (426 м), DN100 (619 м); b. DN40 (2100 м), DN50 (231 м); c. DN250 (35 м); d. DN200 (90 м)	a. DN150 (426 м), DN100 (619 м); b. DN32 (2100 м), DN40 (231 м); c. DN250 (35 м); d. DN200 (90 м)
Общая масса трубопроводов и фитингов, кг	23 750	22 715	21 318
Расчетный напор перед узлом управления, м	89,70	72,30	60,98
Расчетные параметры водопитателя	560 м ³ /ч при напоре 100 м	390 м ³ /ч при напоре 82 м	410 м ³ /ч при напоре 70 м
Фактическое количество и объем типовых подземных железобетонных резервуаров противопожарного запаса воды, м ³	2 × 350 м ³	2 × 250 м ³	2 × 250 м ³
Расчетный объем смачивателя с учетом положительной погрешности дозирования +30 %, м ³	3,64	2,54	2,66
Фактический объем бака-дозатора, м ³	4	3	3
Количество насосов	2 основных и 1 резервный		
Общая мощность основных насосов, кВт	220	150	150
Общая стоимость АУП на 01.01.2021 (оборудование, материалы, монтаж), тыс. у.е.	290	223	220

Выполненное сравнение показывает предпочтительность применения МГР-2 АУП в сравнении с МГР-1, поскольку расчет по данной методике обеспечивает превышение средней интенсивности над нормативной с разумным запасом, тогда как действующая методика приводит многократному превышению средней интенсивности над нормативной, требует соответствующего сокращения расчетной площади, приводит к неоптимальным конструктивным решениям, что снижает надежность АУП и удорожает ее строительство.

Заключение

1. МГР-1 и МГР-2 являются упрощенными в том смысле, что не учитывают реальную неравномерность факела распыла ударно-струйной форсунки (чем и является ороситель), равно как неравномерность распределения пожарной нагрузки и ряд иных факторов. Предлагается ввести понятие расчетного участка, определяющего шаг дискретизации расчетной площади при вычислении средней интенсивности орошения, и принять в качестве расчетного участка часть расчетной площади, приходящуюся на один ороситель. Вместо того чтобы добиваться формального соблюдения норматива в каждой точке, предлагается гарантировать нормативную интенсивность в целом на каждом расчетном участке.

2. Предлагается гармонизировать отечественную МГР с зарубежными стандартами, что обеспечит снижение материалоемкости, стоимости АУП на 20–30 % и повышение эффективности АУП на крупных объектах, приведет к снижению ущерба от ОТВ, позволит «сгладить» множество неопределенностей, присущих гидравлическому расчету АУП, а также поспособствует созданию более благоприятного климата для инвестиционных проектов с зарубежным капиталом.

3. На первом этапе гармонизации стандартов предлагается унифицировать МГР-1 с действующей в РФ, т.е. нормировать допустимые расстояния между оросителями и не

принимать во внимание интенсивность орошения в срединной части пространства между четырьмя близко расположенными оросителями (рис. 5).

4. Предлагается ввести в МГР указания по достаточной точности вычислений и допустимой величине невязок напоров в узловых точках при гидравлическом расчете кольцевых систем. Рекомендуются вычислять напор и потери напора в метрах, а не давление и потери давления в мегапаскалях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahrens, M. U.S. Experience with sprinklers: report / M. Ahrens. – Quincy: NFPA Research, 2017. – 35 p.
2. Frank, K. A review of sprinkler system effectiveness studies / K. Frank, N. Gravestock, M. Spearpoint, C. Fleischmann // Fire Science Reviews. – 2013. – Vol. 2 (6). – 19 p. DOI: 10.1186/2193-0414-2-6.
3. Лобачев, В.Г. Противопожарное водоснабжение: учеб. пособие для пожарно-технических учебных заведений / В.Г. Лобачев; под общ. ред. инж.-полк. Д.М. Корельского. – М.; Л.: Изд-во министерства коммунального хоз-ва РСФСР, 1950. – 347 с.
4. Тарасов-Агалков, Н.А. Упрощенный расчет спринклерных сетей / Н.А. Тарасов-Агалков // Научно-технический бюллетень ЦНИИПО. – 1939. – № 1. – С. 61–79.
5. Ходаков, В.Ф. Автоматические установки водяного пожаротушения / В.Ф. Ходаков. – Киев: Будівельник, 1970. – 37 с.
6. Веселов, А.И. Автоматическая пожаро- и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности / А.И. Веселов, Л.М. Мешман. – М.: Химия, 1975. – 280 с.
7. Бубырь, Н.Ф. Установки автоматической пожарной защиты / Н.Ф. Бубырь [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 176 с.
8. Баратов, А.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1979. – 368 с.
9. Бубырь, Н.Ф. Пожарная автоматика: учеб. пособие для пожарно-технических училищ / Н.Ф. Бубырь, В.П. Бабуров, В.И. Мангасаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 208 с.
10. Родэ, А.А. Автоматические установки для тушения пожаров / А.А. Родэ, Е.Н. Иванов, Г.В. Климов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 190 с.
11. Аммосов, Ф.А. Противопожарная защита бесфонарных зданий / Ф.А. Аммосов, М.Я. Ройтман, Н.А. Тарасов-Агалков. – М.: Стройиздат, 1965. – 126 с.
12. Мешман, Л.М. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / Л.М. Мешман [и др.]. – М.: ВНИИПО МЧС РФ, 2002. – 413 с.
13. Иванов, Е.Н. Расчет интенсивности орошения / Е.Н. Иванов // Сб. ЦНИИПО. Пожарная профилактика и пожаротушение. – Вып. I. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 52–58.
14. Бабурин, В.В. Оценка эффективности спринклерных оросителей / В.В. Бабурин [и др.] // Технологии техносферной безопасности (интернет-журнал). – 2012. – Т. 44, № 4. – 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-4/05-04-12.ttb.pdf>.
15. Wass, Jr. Sprinkler Hydraulics. A Guide to Fire System. Hydraulic Calculations / Jr. Wass, S. Harold, P.E. Fleming, P. Russell. – Third Edition. – The Society of Fire Protection Engineers (SFPE), 2020. – 291 p.

Совершенствование методики гидравлического расчета спринклерных автоматических установок пожаротушения
Improvement of the method of hydraulic calculation of sprinkler automatic fire extinguishing units

Ощепков Андрей Михайлович

Общество с ограниченной ответственностью «СитиСофт», директор
 Адрес: пер. Инструментальный, 4, ком. 10, 220012, г. Минск, Беларусь
 e-mail: andrey@oschepkov.by

Andrey M. Oshchepkov

Limited Liability Company «CitySoft», Director
 Address: Instrumental'nyy per., 4, room 10, 220012, Minsk, Belarus
 e-mail: andrey@oschepkov.by

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент
 Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», ученый секретарь Совета университета
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
 e-mail: Grachulin@ucp.by
 ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
 State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Academic Secretary of the University
 Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
 e-mail: Grachulin@ucp.by
 ORCID: 0000-0003-3832-8258

Потеряев Юрий Константинович

кандидат технических наук
 Группа компаний «Пожнефтехим», заместитель директора по развитию
 Адрес: Рязанский пр-т, 10, стр. 18, этаж 6, ком. 1–7, 109428, г. Москва, Россия
 e-mail: iwbc2020@gmail.com

Yuriy K. Poteryaev

PhD in Technical Sciences
 Pozhneftekhim Group of Companies, Deputy Director for Development
 Address: Ryazanskiy prospect, 10, bldg. 18, 6 floor, rooms 1–7, 109428, Moscow, Russia
 e-mail: iwbc2020@gmail.com

Рябцев Виталий Николаевич

кандидат технических наук
 Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, начальник кафедры
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
 e-mail: v.reabtsev@ucp.by
 ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

PhD in Technical Sciences
 State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Head of the Chair
 Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
 e-mail: v.reabtsev@ucp.by
 ORCID: 0000-0002-2830-591X

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, преподаватель
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
 e-mail: alexlikh20@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer
 Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
 e-mail: alexlikh20@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-9374-1486

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-1.67>

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF SPRINKLER AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING UNITS

Oshchepkov A.M., Grachulin A.V., Poteryaev Yu.K., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O.

Purpose. Development and justification of proposals for improving the methodology for hydraulic calculation of automatic sprinkler fire extinguishing installations.

Methods. Modeling, designing, hydraulic calculations, multi-factor optimization.

Findings. A modernized method for calculating the discharge rate from sprinklers is proposed.

Application field of research. The obtained results can be used in the development of design standards for automatic sprinkler fire extinguishing installations, certain provisions can be used in the design of automatic sprinkler fire extinguishing installations within the framework of current standards.

Keywords: automatic sprinkler fire extinguishing installation, sprinkler, sprinkler spacing, spraying intensity, fire area, hydraulic calculation.

(The date of submitting: January 5, 2021)

REFERENCES

1. Ahrens M. U.S. Experience with sprinklers: report. Quincy: NFPA Research, 2017. 35 p.
2. Frank K., Gravestock N., Spearpoint M., Fleischmann C. A review of sprinkler system effectiveness studies. *Fire Science Reviews*, 2013. Vol. 2 (6). 19 p. DOI: 10.1186/2193-0414-2-6.
3. Lobachev V.G. *Protivopozharnoe vodosnabzhenie* [Fire fighting water supply]: textbook for fire-technical educational institutions. Ed. by Korel'skiy D.M. Moscow; Leningrad: Izdatel'stvo ministerstva kommunal'nogo khozyaystva RSFSR, 1950. 347 p. (rus)
4. Tarasov-Agalkov N.A. Uproshchennyy raschet sprinklernykh setey [Simplified calculation of sprinkler systems]. *Nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' TsNIPO*, 1939. No. 1. Pp. 61–79. (rus)
5. Khodakov V.F. *Avtomaticheskie ustanovki vodyanogo pozharotusheniya* [Automatic fire extinguishing installation]. Kyiv: Budivel'nik, 1970. 37 p. (rus)
6. Veselov A.I., Meshman L.M. *Avtomaticheskaya pozharo- i vzryvozashchita predpriyatiy khimicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti* [Automatic fire and explosion protection of chemical and petrochemical enterprises]. Moscow: Khimiya, 1975. 280 p. (rus)
7. Bubyr' N.F., Ivanov A.F., Baburov V.P., Mangasarov V.I. *Ustanovki avtomaticheskoy pozharoy zashchity* [Automatic fire protection installations]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 176 p. (rus)
8. Baratov A.N., Ivanov E.N. *Pozharotushenie na predpriyatiyakh khimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti* [Fire extinguishing at chemical and oil refining industries]. Moscow: Khimiya, 1979. 368 p. (rus)
9. Bubyr' N.F., Baburov V.P., Mangasarov V.I. *Pozharnaya avtomatika* [Fire automation]: textbook for fire-technical schools. The second edition. Moscow: Stroyizdat, 1984. 208 p. (rus)
10. Rode A.A., Ivanov E.N., Klimov G.V. *Avtomaticheskie ustanovki dlya tusheniya pozharov* [Automatic installations for extinguishing fires]. Moscow: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1965. 190 p. (rus)
11. Ammosov F.A., Roytman M.Ya., Tarasov-Agalkov N.A. *Protivopozharnaya zashchita besfonarnykh zdaniy* [Fire protection for lampless buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 126 p. (rus)
12. Meshman L.M., Tsarichenko S.G., Bylinkin V.A., Aleshin V.V., Gubin R.Yu. *Proektirovanie vodyanykh i pennnykh avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Design of water and foam automatic fire extinguishing installations]. Moscow: VNIPO MChS RF, 2002. 413 p. (rus)
13. Ivanov E.N. Raschet intensivnosti orosheniya [Irrigation intensity calculation]. *Sbornik TsNIPO. Pozharnaya profilaktika i pozharotushenie*, 1964. No. 1. Moscow: Stroyizdat. Pp. 52–58. (rus)
14. Baburin V.V., Baburov V.P., Polyakov D.V., Lebedeva M.I. Otsenka effektivnosti sprinklernykh orositeley [Assessing of effectiveness of sprinklers]. *Technology of Technosphere Safety*, 2012. Vol. 44, No. 4. 6 p. (rus) URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-4/05-04-12.ttb.pdf>.
15. Wass Jr., Harold S., Fleming P.E., Russell P. *Sprinkler Hydraulics. A Guide to Fire System. Hydraulic Calculations*. Third Edition. The Society of Fire Protection Engineers (SFPE), 2020. 291 p.