

**ПРОГРАММА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ
ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ
НА ГЕНЕРАЛЬНОМ ПЛАНЕ
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Воронцов Г. О.¹, Коваленко А. В.²
(ФГБОУ ВО Кубанский государственный
университет, Краснодар)

Генеральный план предприятия является инструментом эффективного использования территории, который обеспечивает размещение объектов с учетом технологических связей и функционального зонирования, что позволяет повысить производительность завода и снизить логистические расходы. Автоматизация генерального плана может способствовать улучшению качества проектирования, как за счет исключения ошибок, связанных с человеческим фактором, так и за счет перебора большого количества вариантов для нахождения оптимального решения. Программный комплекс позволит мгновенно генерировать новые схемы расположения объектов в зависимости от изменения текущих условий, предлагая несколько вариантов для выбора. Для автоматизированного размещения объектов на генеральном плане необходимо учитывать множество факторов. Программа, среди прочего, должна выполнять следующие функции: определять фактические минимальные расстояния между объектами, содержать данные о нормативных противопожарных расстояниях, сравнивать фактические минимальные расстояния с нормативными, выявлять случаи несоблюдения требований нормативно-технической документации и формировать отчет о фактических и нормативных расстояниях. Для реализации этих задач была разработана специализированная программа для проверки соответствия противопожарных расстояний нормативно-техническим требованиям на генеральном плане. Модуль является первым этапом для автоматизации проектирования генплана.

Ключевые слова: генеральный план, математические модели, алгоритмы, оптимизация, автоматизированное проектирование, промышленное предприятие.

¹ Глеб Олегович Воронцов, аспирант (vorontsovgo95@gmail.com).

² Анна Владимировна Коваленко, д.т.н., доцент (savanna-05@mail.ru).

1. Исходные данные

Для работы с программой пользователю необходимо предварительно подготовить файл формата DWG с расположением зданий и сооружений на плане, представленных полилиниями и кругами. В процессе работы программы необходимо будет соотнести объекты на плане с их характеристиками. Для этого каждому объекту требуется присвоить титульный номер путем создания блока и задания атрибута «НОМЕР». Данное действие выполняется с помощью команды, предусмотренной программой. После этого геометрические параметры объектов необходимо экспортить в таблицу и базу данных «parameters» (рис. 1). У прямоугольника извлекаются координаты X , Y левых нижних углов, длина и ширина. У круга извлекаются координаты центра и радиус.

Номер	X	Y	Длина	Ширина	Радиус
1	17	20	20	10	-
2	63	10	10	20	-
2	73	22	20	8	-
2	83	30	5	5	-
3	37	60	-	-	5
3	37	75	-	-	5
3	52	75	-	-	5
3	67	75	-	-	5
3	67	60	-	-	5
3	52	60	-	-	5

Рис. 1. Геометрические параметры объектов

Объект может являться многоугольником (такие многоугольники обычно встречаются в виде букв «Г», «П» и «Н»). Пользователь самостоятельно разделяет многоугольник на прямоугольники, присваивая прямоугольникам одинаковый титульный номер (рис. 2). Таким же образом необходимо поступить в ситуации, когда резервуары объединены в группу, входящую в резервуарный парк (каждому кругу присваивается одинаковый титульный номер).

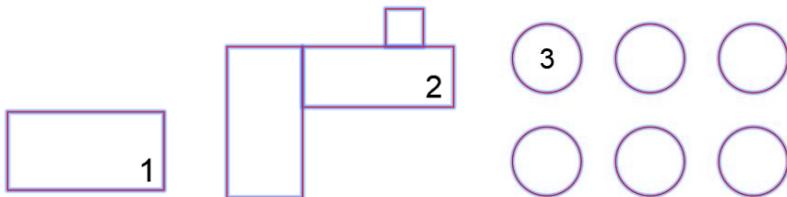


Рис. 2. Объекты на генеральном плане (1 – прямоугольник, 2 – многоугольник, 3 – круги, объединенные в группу)

2. Определение фактических минимальных расстояний

Для определения фактических минимальных расстояний между объектами, имеющими форму прямоугольников, используются формулы, представленные в статьях [1, 2].

На практике сооружения также могут иметь форму круга, например резервуары, и форму простого многоугольника.

Для определения расстояний между прямоугольником и кругом формулы будут иметь вид:

$$(1) \quad S_{ci} = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} - R_c, \quad S_{ci} \geq D_{ci}, \quad \forall c, i \in \{1, \dots, n\}, c \neq i,$$

$$(2) \quad d_x = \max(x_c - (x_i + l_i), 0, x_i - x_c),$$

$$(3) \quad d_y = \max(y_c - (y_i + w_i), 0, y_i - y_c),$$

где S_{ci} – фактическое минимальное расстояние между объектами c и i ; D_{ci} – нормативное противопожарное расстояние между объектами c и i ; (x_i, y_i) – координаты левого нижнего угла объекта i ; l_i и w_i – длина и ширина объекта i ; (x_c, y_c) – координаты центра круга c ; R_c – радиус круга c .

Расстояние между двумя кругами Ci и Cj будет определено по формулам:

$$(4) \quad S_{CiCj} = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} - R_{Ci} - R_{Cj}, \quad S_{CiCj} \geq D_{CiCj},$$

$$\forall Ci, Cj \in \{1, \dots, n\}, Ci \neq Cj,$$

$$(5) \quad d_x = \max(x_{Ci} - x_{Cj}, x_{Cj} - x_{Ci}),$$

$$(6) \quad d_y = \max(y_{Ci} - y_{Cj}, y_{Cj} - y_{Ci}).$$

Многоугольные объекты M представляются прямоугольниками:

$$(7) \quad M = \bigcup_{j=1}^n P_j,$$

где M – многоугольник; P_j – j -й прямоугольник.

Определяется расстояние до каждого прямоугольника и принимается наименьшее:

$$(8) \quad S_{ij} = \min(S_{ij1}, S_{ij2}, S_{ij3}, \dots, S_{ijn}),$$

где S_{ij} – фактическое минимальное расстояние между объектами i и j ; $S_{ij1}, S_{ij2}, S_{ij3}, \dots, S_{ijn}$ – фактическое минимальное расстояние между объектами i и $j1$, i и $j2$, i и $j3$, i и jn соответственно (расстояние между объектами определяется с помощью формул, представленных в статьях [1, 2]).

3. Характеристики объектов

Пользователь заполняет характеристики объектов в таблицах программы с помощью выпадающего списка. Объекты распределены по группам, которые размещены в соответствующих вкладках:

1. Здания (рис. 3).

Тип здания: жилые и общественные, производственные и складские, здания производственной зоны.

Параметры: Степень огнестойкости, Класс опасности.

Номер объекта	Тип здания	Степень огнестойкости		Класс опасности	
1	Жилые и общественные	▽	I	▽	C0
2	Производственные и складские	▽	III	▽	C1
3	Производственной зоны	▽	III	▽	C2

Рис. 3. Характеристики зданий

2. Промежуточные склады ЛВЖ и ГЖ (легковоспламеняющиеся и горючие жидкости) (рис. 4).

*Программы и системы моделирования объектов, средств
и систем управления*

Параметры: Тип продукта, Емкость склада.

Номер объекта	Тип продукта	Емкость склада	
4	ЛВЖ	ЛВЖ(от 1000 до 2000)	
5	ГЖ	ГЖ(от 1500 до 3000)	

Рис. 4. Характеристики промежуточных складов ЛВЖ и ГЖ

3. Резервуары СУГ (сжиженные углеводородные газы) (рис. 5).

Параметры: Объем и способ хранения.

Номер объекта	Объем и способ хранения	Способ хранения		Объем
6	до 10000 м ³ под давлением	надземные под давлением		(2000-5000)
7	до 40000 м ³ изотермически	подземные изотермические		(6000-10000)
8	от 10000 м ³ под давлением	подземные под давлением		(более 10000)

Рис. 5. Характеристики резервуаров СУГ

4. Установки и цеха (рис. 6).

Параметры: Категория.

Номер объекта	Объект	Категория	
9	Установка	Установка А	
10	Цех	Цех Б	

Рис. 6. Характеристики установок и цехов

5. Резервуарные парки ЛВЖ и ГЖ (рис. 7).

Параметры: Емкость склада.

Номер объекта	Тип продукта	Емкость склада	
11	ЛВЖ/ГЖ	ЛВЖ/ГЖ(от 20 000 до 100 000)	
12	ЛВЖ/ГЖ	ЛВЖ/ГЖ(от 100 000)	

Рис. 7. Характеристики резервуарных парков ЛВЖ и ГЖ

6. Сливо-наливные эстакады ЛВЖ и ГЖ (рис. 8).
Параметры: Емкость склада.

Номер объекта	Тип продукта	Емкость склада	
13	СНЭ_ЛВЖ/СНЭ_ГЖ	▼	СНЭ_ЛВЖ(от 100 000) ▼
14	СНЭ_ЛВЖ/СНЭ_ГЖ	▼	СНЭ_ГЖ(от 20 000 до 100 000) ▼

Рис. 8. Характеристики сливо-наливных эстакад ЛВЖ и ГЖ

7. Другие объекты (рис. 9).
Объекты: Печь для сжигания, Факельная установка, Продуктовая насосная, РУ ТП и ПП (распределительные устройства, трансформаторные подстанции, преобразовательные подстанции), Другой объект.

Номер объекта	Объект (таблица)	Объект	
15	Печь для сжигания	▼	Печь с ЛВЖ ▼
16	Факельная установка	▼	Факельная установка ▼
17	Продуктовая насосная	▼	Продуктовая насосная ▼
18	РУ, ТП и ПП	▼	РУ, ТП и ПП(закрытые) ▼
19	Другой объект	▼	Другой объект ▼

Рис. 9. Другие объекты

Заполненные характеристики автоматически консолидируются в общей таблице и хранятся в базе данных «characteristic» (рис. 10).

Программа поддерживает экспорт заполненных характеристик в XML-формате. Сохраненный XML-файл можно импортировать в программу. Это позволяет сохранять наборы характеристик объектов для отдельных проектов и повторно использовать их в будущем.

*Программы и системы моделирования объектов, средств
и систем управления*

Объекты	Здания	Промежуточные ЛВЖ и ГЖ	Резервуары СУГ	Установки и цеха	Рез. парки ЛВЖ
1	2	3	4		
1	Жилые и общественные	I		C0	
2	Производственные и складские	III		C1	
3	Производственной зоны	III		C2	
4	ЛВЖ	ЛВЖ(от 1000 до 2000)			
5	ГЖ	ГЖ(от 1500 до 3000)			
6	до 10000 м ³ под давлением	надземные под давлением	(2000-5000)		
7	до 40000 м ³ изотермически	подземные изотермические	(6000-10000)		
8	от 10000 м ³ под давлением	подземные под давлением	(более 10000)		
9	Установка	Установка А			
10	Цех	Цех Б			
11	ЛВЖ/ГЖ	ЛВЖ/ГЖ(от 20 000 до 100 000)			
12	ЛВЖ/ГЖ	ЛВЖ/ГЖ(от 100 000)			
13	СНЭ_ЛВЖ/СНЭ_ГЖ	СНЭ_ЛВЖ(от 100 000)			
14	СНЭ_ЛВЖ/СНЭ_ГЖ	СНЭ_ГЖ(от 20 000 до 100 000)			
15	Печь для сжигания	Печь с ЛВЖ			
16	Факельная установка	Факельная установка			
17	Продуктовая насосная	Продуктовая насосная			
18	РУ, ТП и ПП	РУ, ТП и ПП(закрытые)			
19	Другой объект	Другой объект			

Рис. 10. Характеристики объектов

4. Определение требуемых противопожарных расстояний

Требуемые противопожарные расстояния определяются согласно таблицам нормативно-технической документации (НТД) (рис. 11) [5, 6, 7]. Для определения таблицы, по которой будет находиться расстояние, используется колонка 2 базы данных «characteristic» (рис. 10). В программе заданы правила определения таблиц в зависимости от типов объектов. Например, для определения расстояния между двумя установками используется таблица 40 [7], между резервуарным парком ЛВЖ и ГЖ и сливо-наливной эстакадой ЛВЖ и ГЖ используется таблица 3 [6]. Для поиска нормативного расстояния в таблице параметры колонок 3 и 4 базы данных «characteristic» (рис. 10) объединя-

ются. Алгоритм находит строку с характеристиками первого объекта, затем колонку с характеристиками второго объекта и возвращает значение на пересечении. Нормативные таблицы адаптированы к перечню характеристик, представленному в общей таблице (рис. 10). Стоит отметить, что в нормативной документации таблицы не симметричны. Например, в таблице 40 [7] заголовки столбцов содержат наименования «технологическая установка», «цех» и «факельная установка», тогда как заголовки строк, помимо вышеперечисленных, содержат и другие наименования. Для корректного поиска необходимо расширить таблицу, чтобы существовали все комбинации (дублировать данные), либо добавить проверку в обратном порядке для двунаправленного поиска.

Степень огнестойкости и Класс опасности	IC0 IC1 IC2 IC3 IIC0 IIC1 IIC2 IIC3 IIC0 IVC0	IIC1	IIIC2 IIIC3 IVC1 IVC2 IVC3 VC0 VC1 VC2 VC3
IC0 IC1 IC2 IC3 IIC0 IIC1 IIC2 IIC3 IIIC0 IVC0	9	9	12
IIIC1	9	12	15
IIIC2 IIIC3 IVC1 IVC2 IVC3 VC0 VC1 VC2 VC3	12	15	18

Рис. 11. Таблица для определения нормативного расстояния

5. Результат

Для корректного внесения результатов в таблицу необходимо синхронизировать между собой базы данных «parameters» и «characteristic». В каждой базе данных предусмотрено упорядочивание по возрастанию. Также при нажатии на кнопку «Рас считать расстояние» проводится проверка нумерации. Нумерация объектов одной базы данных должна полностью соответствовать другой. Если нумерация не совпадает, расчет не выполняется и программа выводит ошибку: «Не совпадает нумерация объектов». Таким образом, исключается возможность ошибки пользователя при назначении номеров объектов.

В результате выполнения расчетов программа отображает фактические минимальные расстояния и требуемые противопожарные расстояния между объектами (рис. 12). В колонке «Таблица» указывается таблица, на основании которой определяется

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

нормативное расстояние. Фактическое минимальное расстояние должно быть больше требуемого НТД, в противном случае программа сообщит о несоблюдении нормативного требования.

Объекты	Расстояние	НТД	Выполнено	Таблица
7-29	62.008	30	+	СП155 таблица 3
7-30	36.125	40	Не выполнено	СП155 таблица 3
7-31	69.857	Не найдено	Не найдено	
7-32	41.037	Не найдено	Не найдено	
7-33	76.42	40	+	СП4 таблица 40
7-34	64.661	40	+	СП4 таблица 40
7-35	73.546	40	+	СП155 таблица 3
7-36	62.691	40	+	СП155 таблица 3
7-37	79	50	+	СП4 таблица 40

Рис. 12. Результаты

В перспективе, с учетом производственной необходимости, планируется дополнение перечня типов объектов и их характеристик, а также зависимостей (правил), на основе которых определяются нормативные таблицы и противопожарные расстояния.

6. Специальные технические условия

Если требуется сократить нормативные расстояния или отсутствуют нормативные требования, допускается разработка специальных технических условий (СТУ), содержащих дополнительные требования в области безопасности.

Предположим, между объектами 1 и 2 не выполнено нормативное расстояние 25 м согласно таблице 40 [7]. Фактическое расстояние между объектами 16 м, что меньше нормативного значения (рис. 13).

Объекты	Расстояние	НТД	Выполнено	Таблица
1-2	16	25	Не выполнено	СП4 таблица 40

Рис. 13. Нормативное расстояние не выполнено

Если между объектами 1 и 2 разработано специальное техническое условие, то требуемое значение можно внести во вкладке СТУ (рис. 14).

Объект 1	Объект 2	Расстояние
1	2	15

Рис. 14. Заполнение значений во вкладке СТУ

После повторного нажатия на кнопку «Рассчитать расстояния» таблица обновится, укажет на наличие СТУ, а расстояние НТД примет значение, введенное пользователем (рис. 15). Если значение в колонке НТД станет меньше фактического расстояния, программа отобразит выполнение нормативного требования.

Объекты	Расстояние	НТД	Выполнено	Таблица
1-2	16	15	+	СТУ

Рис. 15. Обновление таблицы после заполнения вкладки СТУ

7. Заключение

Программа позволяет сравнивать фактические минимальные расстояния и требуемые противопожарные расстояния, выявляя несоответствие генерального плана нормативной документации.

Программный продукт является эффективным инструментом управления качеством проектирования. Программа работает по принципу цикла контроля и корректировки: измеряет фактические параметры, сравнивает их с нормативными значениями, идентифицирует отклонения и обеспечивает возможность оперативного внесения исправлений (вкладка СТУ). Также пользователь может вручную скорректировать исходные параметры, после чего программа выполнит повторную проверку. Модуль позволяет снижать вероятность ошибок на этапе проектирования, упрощает процесс проверки и сокращает временные затраты.

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

Данный продукт станет частью программного комплекса, предназначенного для автоматизированной расстановки объектов на генплане. Размещение зданий и сооружений планируется осуществлять с помощью классических [3, 10] и современных методов [4, 8, 9].

Литература

1. ВОРОНЦОВ Г.О., КОВАЛЕНКО А.В. *Математические модели для автоматизации генерального плана промышленного предприятия* // Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, Краснодар, 15–21 апреля 2024 года. – Краснодар: Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2024. – С. 85–89.
2. ВОРОНЦОВ Г.О., КОВАЛЕНКО А.В. *Математические модели для автоматизированного размещения объектов на территории промышленного предприятия* // Прикладная математика и вопросы управления. – 2025. – №1. – С. 84–92. – DOI: 10.15593/2499-9873/2025.1.06.
3. ВОРОНЦОВ Г.О., КОВАЛЕНКО А.В., ОВСЯННИКОВА А.В. *Классические методы оптимизации для автоматизированного размещения объектов на территории промышленного предприятия* // Нелинейный мир. – 2024. – Т. 22, №4. – С. 20–27. – DOI: 10.18127/j20700970-202404-03.
4. КОВАЛЕНКО А.В., ВОРОНЦОВ Г.О. *Оптимизация компоновки завода с помощью алгоритма машинного обучения* // Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – 2023. – С. 380–383.
5. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ)*. – 6-е изд.
6. *СП155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности*.
7. *СП4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты*.

ты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

- 8. BÉNABÈS J., BENNIS F., POIRSON E. et al. *Interactive optimization strategies for layout problems* // Int. Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). – 2010. – Vol. 4(3). – P. 181–190. – DOI: 10.1007/s12008-010-0100-x.
- 9. SCHOLZ D., JAEHN F., JUNKER A. *Extensions to STATS for practical applications of the facility layout problem* // European Journal of Operational Research. – 2010. – Vol. 204(3). – P. 463–472. – DOI: 10.1016/j.ejor.2009.11.012.
- 10. XIE W., SAHINIDIS N.V. *A branch-and-bound algorithm for the continuous facility layout problem* // Computers and Chemical Engineering. – 2008. – Vol. 32. – P. 1016–1028. – DOI: 10.1016/j.compchemeng.2007.05.003.

A PROGRAM FOR CHECKING THE COMPLIANCE OF FIRE BREAKS REGULATORY AND TECHNICAL REQUIREMENTS ON THE MASTER PLAN OF PETROCHEMICAL COMPLEXES

Gleb Vorontsov, Kuban State University, Krasnodar, Postgraduate Student (vorontsovgo95@gmail.com).

Anna Kovalenko, Kuban State University, Krasnodar, Doctor of Science, Associate Professor (savanna-05@mail.ru).

Abstract: The general plan of the enterprise is a tool for the effective use of the territory, ensuring the placement of facilities, taking into account technological connections and functional zoning, which allows to increase the productivity of the plant and reduce logistical costs. Automatization of the master plan can help improve the quality of design, both by eliminating errors related to the human factor, and by sorting through more options to find the optimal solution. The software package will allow you to instantly generate new layouts of objects depending on changes in current conditions, offering several options to choose from. For automated placement of objects on the master plan, it is necessary to take into account many factors. The program, among other things, should perform the following functions: determine the actual minimum distances between objects, contain data on regulatory fire distances, compare actual minimum distances with regulatory ones, identify cases of non-compliance with the requirements of regulatory and technical documentation, and generate a report on actual and regulatory distances. To achieve these objectives, a specialized program has been

*Программы и системы моделирования объектов, средств
и систем управления*

developed to verify the compliance of fire-fighting areas with the regulatory and technical requirements on the master plan. The module is the first stage for automating the design of the master plan.

Keywords: master plan, mathematical models, algorithms, optimization, computer-aided design, industrial enterprise

УДК 004.42

ББК 30.2

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Г.А. Угольницким.*

*Поступила в редакцию 04.06.2025.
Опубликована 30.09.2025.*