ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Логистика и коммерческая работа»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА»

Задание и методические указания по трём задачам
по дисциплине «Международные контейнерно-транспортные системы»
для обучающихся по всем направлениям подготовки
факультетов «Управление перевозками и логистика» и «Экономика и менеджмент»

Санкт-Петербург
2026

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель и задачи курсового проекта

Цель курсового проекта — освоить сквозную методику проектирования контейнерного терминала: от отдельной грузовой единицы и маркировочного кода контейнера до генерального плана терминала и проверки принятых проектных решений имитационной моделью в среде системной динамики.

Задачи курсового проекта:

закрепить практические навыки работы с нормативной и технической документацией (ГОСТ 52524–2005, ГОСТ 9238, СП 316.1325800.2017, СП 262.1325800.2016, Тарифное руководство № 4);

освоить расчёт контейнеропотоков терминала и обоснование места его размещения;

освоить расчёт ёмкости контейнерных площадок, потребного числа средств механизации и перерабатывающей способности терминала;

получить навык разработки генерального плана терминала с оформлением экспликации и технико-эксплуатационных показателей;

получить навык построения системно-динамической модели технологического процесса и использования модели для верификации проектных решений.

1.2. Структура курсового проекта

Курсовой проект состоит из **четырёх** разделов: уже выполненных практических работ (раздел 0) и трёх расчётных задач, объединённых единым объектом исследования — контейнерным терминалом. Все три задачи связаны сквозной цепочкой исходных данных: результат каждой задачи является исходными данными следующей.

Таблица 1.1 — Сквозная логика курсового проекта

Раздел	Что делается	Вход	Выход (передаётся дальше)
Раздел 0. Грузовая единица и контейнер	Маркировочный код, размещение и крепление груза в контейнере, выбор типа контейнера	Наименование и параметры груза, упаковка, тип контейнера	Тип и типоразмер контейнера, схема загрузки, коэффициент использования грузоподъёмности $k_{гп}$, число контейнеров на партию — исходные данные для Задачи 1
Задача 1. Грузопоток терминала	Расчётный полигон, место размещения терминала, суточный объём работы, план формирования, календарное расписание, размер подачи и длина грузового фронта	Годовой грузооборот по варианту, сроки хранения, вид сообщения, модель платформы	Суточные потоки прибытия и отправления (ДФЭ/сут), структура по назначениям, длина фронта подачи — исходные данные для Задачи 2
Задача 2. Генеральный план терминала	Площадь участка, ёмкость и размеры площадок, число средств механизации, перерабатывающая способность, чертёж генплана А1 с экспликацией и ТЭП	Выход Задачи 1, форма и размеры участка, вариант технического оснащения	Проектные параметры терминала (R, П, число кранов, размеры двора) — исходные данные для Задачи 3
Задача 3. Системно-динамическая модель	Построение модели в InsightMaker, сценарные эксперименты, верификация проекта, обоснование корректировки генплана	Выход Задачи 2, нормативы времени цикла и производительности механизмов	Вывод о работоспособности проекта и перечень корректировок, вносимых в Задачу 2

1.3. Исходные данные и порядок выбора варианта

Исходные данные выдаются по варианту, номер которого определяется по номеру обучающегося в списке группы (по согласованию с преподавателем допускается выбор варианта по последним двум цифрам студенческого билета). Числовые значения варианта приведены в отдельном файле «Бланк исходных данных (30 вариантов)».

Каждый вариант задаёт: типоразмер контейнера, годовые грузообороты по прибытию и отправлению, коэффициент месячной неравномерности, долю железнодорожного транспорта, статическую нагрузку контейнера, модель фитинговой платформы, число подач вагонов в сутки, сроки хранения по прибытию и отправлению, форму и размеры земельного участка, вариант технического оснащения, пролёт крана, число железнодорожных путей в пролёте, долю контейнеров, перегружаемых по прямому варианту, режим работы терминала, расчётную скорость автомобилей, расстояния до складов клиентуры, долю контейнеров с одной грузовой операцией и вариант распределения грузопотока по назначениям плана формирования.

Внимание. Самостоятельное изменение исходных данных варианта не допускается. Все результаты должны быть получены из данных своего варианта; замена исходных данных проверяется при защите и ведёт к снижению оценки.

1.4. Требования к оформлению

Пояснительная записка — файл DOCX; шрифт Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,5, поля: левое 25 мм, правое 15 мм, верхнее и нижнее 20 мм; абзацный отступ 12,5 мм; выравнивание по ширине.

Сквозная нумерация страниц (внизу по центру), сквозная нумерация формул (в круглых скобках у правого края), таблиц и рисунков (подпись сверху для таблиц, снизу для рисунков).

Расчёты выполняются в единицах СИ; обязательна размерность всех результатов. Округление — до целых значений в единицах ДФЭ, контейнеров и вагонов, до 0,01 — для коэффициентов.

Каждая формула должна сопровождаться расшифровкой всех входящих в неё величин с указанием размерности.

Графические материалы: чертёж генерального плана — отдельный лист А1, масштаб 1:1000 (допускается 1:500 или 1:2000 по согласованию), оформление по ГОСТ 21.508–2020, наличие основной надписи по ГОСТ 2.104, экспликации зданий и сооружений, технико-эксплуатационных показателей, условных обозначений, размерных линий и примечаний.

Модель в InsightMaker сохраняется с открытым доступом; ссылка на модель обязательна в тексте Задачи 3 и на защите.

1.5. Объём и критерии оценивания

Рекомендуемый объём пояснительной записки — 35–45 страниц (без приложений) плюс один лист чертежа А1. Распределение баллов приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 — Критерии оценивания курсового проекта

Критерий	Баллы
Соответствие исходных данных выданному заданию	5
Обоснованность технических, технологических и организационных решений, подтверждённая расчётами	15

Соблюдение установленного графика (предоставление в срок)	5
Использование современного программного обеспечения (InsightMaker, САПР, электронные таблицы)	10
Соответствие пояснительной записки требованиям ГОСТ	5
Соответствие разработанного чертежа пояснительной записке	10
Соответствие чертежа требованиям ГОСТ, наличие экспликации и ТЭП	15
Использование современных средств автоматизации проектирования при выполнении чертежа	10
Защита проекта (полнота и правильность ответов)	25
Итого	**100**

Шкала перевода баллов: 86–100 — «отлично»; 75–85 — «хорошо»; 60–74 — «удовлетворительно»; менее 60 — «неудовлетворительно».

2. РАЗДЕЛ 0. ГРУЗОВАЯ ЕДИНИЦА И КОНТЕЙНЕР (завершённые работы)

Раздел 0 содержит результаты ранее выполненных практических работ и в курсовом проекте не пересчитывается. Он переносится в пояснительную записку в сокращённом виде (3–5 страниц) в едином оформлении и служит связующим звеном между грузом и терминалом.

2.1. Состав раздела

Подбор контейнера для перевозки груза с наименьшим числом используемых контейнеров: количество груза по длине, ширине и высоте транспортного пакета; число грузовых мест в пакете; масса брутто пакета; количество пакетов в контейнере; масса груза в контейнере; коэффициент использования контейнера по грузоподъёмности $k_{гп}$ для одно- и двухъярусной схемы загрузки; обоснование оптимальной схемы.

Размещение и крепление грузов в контейнере: проверка нагрузки на пол (не более 1 кгс/см²), расчёт координат общего центра масс груза по длине и ширине, определение суммарных зазоров в продольном и поперечном направлениях, обоснование необходимости дополнительного крепления, расчёт числа и выбор типоразмера пневмооболочек, расчёт стоимости крепления.

Маркировочный код крупнотоннажного контейнера по ГОСТ 52524–2005 (ИСО 6346): код владельца, идентификатор категории оборудования, серийный номер, расчёт контрольного числа, код размера и код типа контейнера; схема нанесения маркировки; пломбирование (ЗПУ) и состав перевозочных документов.

2.2. Выходные данные раздела 0, используемые далее

Таблица 2.1 — Сводная таблица результатов раздела 0

Показатель	Обозначение	Значение	Где используется
Типоразмер контейнера	—	1A (40-футовый) или 1C (20-футовый)	Задачи 1–3
Число ДФЭ в одном контейнере	$n_{ДФЭ}$	2 (для 1A) / 1 (для 1C)	Задачи 1–3
Статическая нагрузка контейнера, т/конт	$P_{ст}$	по варианту	Задача 1, формула (6)
Масса груза в контейнере, кг	$Q_{гр}$	из раздела 0	Задача 1
Коэффициент использования грузоподъёмности	$k_{гп}$	из раздела 0	контроль
Число пневмооболочек, шт.	$n_{об}$	из раздела 0	контроль затрат

Маркировочный код контейнера	—	из раздела 0	оформление перевозки

3. ЗАДАЧА 1. ГРУЗОПОТОК КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

3.1. Постановка задачи

Логистическая компания планирует строительство контейнерного терминала для обслуживания клиентов в населённых пунктах расчётного полигона. Требуется обосновать место размещения терминала, определить его суточный объём работы и построить план формирования контейнеропотоков.

Исходные данные: годовые грузообороты по прибытию $Q_{п}$ и по отправлению $Q_{от}$ (тыс. т/год); коэффициент месячной неравномерности $k_{м}$; доля железнодорожного транспорта в годовом грузообороте $\delta_{ж}$; статическая нагрузка контейнера $P_{ст}$, т/конт; модель фитинговой платформы; число подач вагонов в сутки p; сроки хранения контейнеров по прибытию $t_{пр}$ и по отправлению $t_{от}$; распределение отправления по семи населённым пунктам полигона и вариант распределения по назначениям плана формирования.

Требуется:

построить схему расчётного полигона и сводную таблицу характеристик населённых пунктов;

определить и обосновать место расположения контейнерного терминала;

рассчитать суточные объёмы работы терминала по прибытию и отправлению для железнодорожного и автомобильного транспорта, включая порожние контейнеры;

рассчитать месячную погрузку по назначениям плана формирования и построить календарное расписание приёма контейнеров к отправлению;

определить размер подачи вагонов и длину грузового фронта.

3.2. Расчётный полигон и место расположения терминала

Схема расчётного полигона строится по данным таблиц «Полигон» и «Направления» бланка исходных данных: наносятся населённые пункты, коды станций, принадлежность к железной дороге и тарифные расстояния между пунктами (по Тарифному руководству № 4). Расстояния принимаются по значениям выше главной диагонали матрицы.

Место расположения терминала определяется как центр тяжести контейнеропотоков полигона. Географические координаты центра тяжести:

$$\varphi_{ц} = \Sigma(Q_i \cdot \varphi_i) / \Sigma Q_i; \qquad \lambda_{ц} = \Sigma(Q_i \cdot \lambda_i) / \Sigma Q_i, \tag{1}$$

где Q_i — годовой грузооборот по отправлению в i-й населённый пункт, тыс. т/год; φ_i, λ_i — географическая широта и долгота i-го пункта, град.

Полученная точка наносится на схему полигона. Терминал размещается на ближайшем крупном железнодорожном узле, обеспечивающем: примыкание к железнодорожной линии и федеральной автомобильной дороге, наличие свободной площадки вне перспективной городской застройки, возможность организации маршрутных контейнерных поездов. Выбор обосновывается расчётом и описанием имеющейся транспортной инфраструктуры.

3.3. Суточный объём работы терминала

Число контейнеров в годовом грузообороте:

$$N_{п} = Q_{п} \cdot 1000 / P_{ст}; \qquad N_{от} = Q_{от} \cdot 1000 / P_{ст}, \tag{2}$$

где $Q_п$, $Q_{от}$ — годовые грузообороты, тыс. т/год; $P_{ст}$ — статическая нагрузка контейнера, т/конт.

Среднесуточные объёмы работы по железнодорожному транспорту:

$$Q_{сут.п}^{ж} = N_п \cdot k_м \cdot \delta_ж / 365; \qquad Q_{сут.от}^{ж} = N_{от} \cdot k_м \cdot \delta_ж / 365, \tag{3}$$

по автомобильному транспорту:

$$Q_{сут.п}^{а} = N_п \cdot k_м \cdot (1 - \delta_ж) / 365; \qquad Q_{сут.от}^{а} = N_{от} \cdot k_м \cdot (1 - \delta_ж) / 365. \tag{4}$$

Среднесуточное количество порожних контейнеров определяется из баланса гружёных потоков (ввоз или вывоз порожних):

$$N_{пор} = |N_{от} - N_п| \cdot k_м / 365. \tag{5}$$

Направление перемещения порожних контейнеров (прибытие или отправление) принимается по знаку разности $N_{от} - N_п$ и обосновывается в тексте: если отправление гружёных превышает прибытие, порожние контейнеры ввозятся на терминал под загрузку у грузоотправителей.

Общий суточный объём работы терминала (сумма операций по прибытию и отправлению в ДФЭ):

$$Q_{сут} = (Q_{сут.п}^{ж} + Q_{сут.от}^{ж} + Q_{сут.п}^{а} + Q_{сут.от}^{а} + N_{пор}) \cdot n_{ДФЭ}, \ \text{ДФЭ/сут}, \tag{6}$$

где $n_{ДФЭ}$ — число ДФЭ в одном физическом контейнере ($n_{ДФЭ} = 2$ для типа 1А, $n_{ДФЭ} = 1$ для типа 1С).

Результаты сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 — Суточный объём работы контейнерного терминала

Показатель	По формуле	Прибытие	Отправление	Всего
Гружёные контейнеры по железной дороге, конт/сут	(3)			
Гружёные контейнеры автомобильным транспортом, конт/сут	(4)			
Порожние контейнеры, конт/сут	(5)			
Итого физических контейнеров, конт/сут	Σ			
Итого в ДФЭ, ДФЭ/сут	(6)			

3.4. План формирования и календарное расписание

Месячная погрузка контейнеров на все назначения:

$$Q_{мес} = Q_{сут.от}^{ж} \cdot 30, \ \text{конт/мес}. \tag{7}$$

Объём погрузки по назначениям плана формирования:

$$Q_{мес.i} = Q_{мес} \cdot \gamma_i / 100; \qquad Q_{сут.i} = Q_{мес.i} / 30, \tag{8}$$

где γ_i — доля i-го назначения в погрузке, % (по варианту распределения).

Расчётный интервал накопления контейнеров до целого вагона:

$$I_i = n_{пл} / Q_{сут.i}, \ \text{сут}, \tag{9}$$

где $n_{пл}$ — число контейнеров на фитинговой платформе (для 40-футового контейнера на 80-футовой платформе $n_{пл} = 2$; на 60-футовой — 1; для 20-футового контейнера на 80-футовой платформе $n_{пл} = 4$, на 60-футовой — 3).

Полученный интервал округляется до целого числа суток в большую сторону; результат сводится в таблицу 3.2, на основании которой строится календарное расписание приёма контейнеров к отправлению по числам месяца (таблицы 3.3 и 3.4). Календарное

расписание должно обеспечивать минимальное время накопления контейнеров на комплект и равномерность работы терминала.

Таблица 3.2 — Назначения плана формирования

Назначение	Доля в погрузке γ_i, %	Контейнеров в месяц	Контейнеров в сутки	Интервал накопления, сут
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				
Q6				
Итого	**100**			—

В последнем столбце записывают расчётный и принятый интервалы (например, 0,16 / 1). Форма заполняется по формулам (7)–(9).

Таблица 3.3 — Календарное расписание приёма контейнеров к отправлению, числа месяца 1–15

Назначение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Итого
Q1																
Q2																
Q3																
Q4																
Q5																
Q6																
Всего конт.																
Всего ваг.																

Таблица 3.4 — Календарное расписание приёма контейнеров к отправлению, числа месяца 16–30

Назначение	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Итого
Q1																
Q2																
Q3																
Q4																
Q5																
Q6																
Всего конт.																
Всего ваг.																

В клетках — количество контейнеров, принимаемых к отправлению в соответствующее число месяца; сумма по строке должна совпадать с месячной погрузкой по назначению, а число вагонов — с частным от деления на число контейнеров на платформе.

3.5. Размер подачи и длина грузового фронта

Число фитинговых платформ в подаче на терминал:

$$m = Q_{сут.п}^{ж} \cdot k_н / (n_{пл} \cdot p), \qquad (10)$$

где $k_н = 1{,}2$ — коэффициент суточной неравномерности; p — число подач вагонов в сутки.

Длина фронта подачи (погрузочно-разгрузочного пути):

$$L_ф = m \cdot l_{ф.п}, \text{ м}, \qquad (11)$$

где $l_{ф.п}$ — длина фитинговой платформы по автосцепкам: 25,52 м (80-футовая), 19,62 м (60-футовая), 14,62 м (40-футовая).

Полученная длина фронта является исходным размером для определения длины контейнерного двора в Задаче 2.

3.6. Состав отчёта по Задаче 1

схема расчётного полигона с расстояниями (рисунок);
сводная таблица характеристик населённых пунктов;
расчёт центра тяжести и обоснование места размещения терминала;
расчёт суточных объёмов работы (таблица 3.1);
расчёт плана формирования (таблицы 3.2–3.4);
расчёт размера подачи и длины грузового фронта;
выводы по задаче с указанием суточных потоков, ДФЭ/сут.

Контрольные вопросы. 1) Почему терминал размещается в центре тяжести контейнеропотоков, а не в самом крупном пункте? 2) Как влияет коэффициент месячной неравномерности на параметры терминала? 3) Что показывает интервал накопления контейнеров и как он связан с планом формирования? 4) Почему порожние контейнеры двигаются в направлении, противоположном преобладающему гружёному потоку?

4. ЗАДАЧА 2. ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

4.1. Постановка задачи

По данным Задачи 1 и варианту земельного участка требуется рассчитать ёмкость и размеры контейнерных площадок, определить потребное число средств механизации и перерабатывающую способность терминала, после чего разработать генеральный план терминала — главный графический документ курсового проекта.

Исходные данные: суточные потоки и длина грузового фронта из Задачи 1; форма и размеры земельного участка (лист «Формы участков»); вариант технического оснащения; пролёт крана и число железнодорожных путей в пролёте; сроки хранения; режим работы.

4.2. Площадь земельного участка

Площадь участка определяется по его геометрической форме:

Таблица 4.1 — Формулы площадей земельных участков

Тип участка	Формула	Пояснение
Прямоугольный треугольник	$S = ½ \cdot a \cdot b$	a, b — катеты, м
Равнобедренный треугольник	$S = ½ \cdot a \cdot h$	a — основание, h — высота, м
Прямоугольная трапеция	$S = ½ \cdot (a + b) \cdot h$	a, b — основания, h — высота, м
Трапеция с углом при основании	$S = ½ \cdot (a + b) \cdot h$	угол влияет на конфигурацию
Параллелограмм	$S = a \cdot b \cdot \sin \alpha$	α — угол между сторонами, град
Прямоугольник	$S = a \cdot b$	a, b — стороны, м
Участок Г-образной формы	$S = a \cdot b - c \cdot d$	c, d — размеры выреза, м
Участок пятиугольной формы	$S = a \cdot b + c \cdot d$	c, d — размеры пристройки, м

Предварительная площадь под застройку и площади под крытый склад и контейнерные площадки:

$$FC = S \cdot К_з; \qquad S_{к.с.} = FC \cdot \alpha; \qquad S_{к.п.} = FC \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta, \qquad (12)$$

где $К_з$ = 0,60 — коэффициент полезной застройки территории; α = 0,50 — коэффициент полезного использования площади участка; β = 2,0 для чётного и 1,25 для нечётного варианта — коэффициент, учитывающий проезды, пожарные разрывы и резерв площади.

Полученные площади являются предварительными (резервными). Фактические размеры крытого склада и контейнерных площадок принимаются по расчёту (п. 4.3) с учётом строительных модулей: пролёты складских корпусов 18 или 24 м, длина кратна 6 м. В тексте необходимо привести сравнение расчётной и принятой площадей и объяснить назначение разницы (резерв под перспективное развитие, порожние контейнеры, ремонтный фонд, стоянки).

4.3. Ёмкость и размеры контейнерных площадок

Ёмкость контейнерной площадки — количество ДФЭ, которое может одновременно разместиться на площадке:

$$R = x \cdot y \cdot z, \tag{13}$$

где x — число контейнеров по ширине площадки; y — число контейнеров по длине площадки; z — число ярусов хранения по высоте.

Для площадки с козловым краном (RMG) число контейнеров по ширине пролёта:

$$x = \varepsilon\{(L_п - 2 \cdot 1{,}5 - n_ж \cdot 4{,}9) / 2{,}6\}, \tag{14}$$

где $L_п$ — пролёт козлового крана, м (25 м для чётного варианта, 32 м для нечётного); 1,5 м — зазор между подкрановым путём и штабелем; $n_ж$ — число железнодорожных путей, введённых в пролёт крана (0, 1 или 2); 4,9 м — ширина габарита приближения строения к железнодорожному пути по ГОСТ 9238; 2,6 м — ширина контейнера с зазорами; ε{…} — целая часть числа.

Число контейнеров по длине площадки:

$$y = \varepsilon\{(L - 2 \cdot 10 - n_{пр} \cdot 1{,}5) / l_к\}, \tag{15}$$

где L — длина контейнерной площадки, м, принимаемая по длине фронта подачи (формула 11) и округлённая вверх до размера, кратного 6 м; 10 м — резерв длины на приближение крана в торце площадки; $n_{пр}$ — число поперечных противопожарных проходов (через 40 м); 1,5 м — ширина прохода; $l_к$ = 6,3 м для ДФЭ и 12,4 м для СФЭ.

Число ярусов по высоте: z = 3 для площадки с козловым краном; z = 3–5 для порожних контейнеров; для RTG, SC и ричстакеров — по таблице 4.2.

Для площадки с RTG число контейнеров по ширине принимается по данным изготовителей (таблица 4.2), число по длине — по формуле (15) с резервом 20 м в каждом торце.

Таблица 4.2 — Параметры кранов на пневмоходу (RTG)

Пролёт $L_п$, м	Число контейнеров по ширине x	Высота подъёма $H_п$, мм	Число ярусов z	Модель
20,8	5	12 340	3	«1 через 3»
23,6	6	15 240	4	«1 через 4»
26,4	7	18 100	5	«1 через 5»
29,2	8	21 000	6	«1 через 6»

Для площадки с портальными автопогрузчиками (SC) число контейнеров по ширине и по длине определяется по формулам (18) и (19) методических указаний кафедры; число ярусов z = 2.

Требуемая (нормативная) ёмкость контейнерного двора с раздельным хранением по прибытию и по отправлению:

$$R_{тр} = (Q_{сут.п} \cdot t_{пр} + Q_{сут.от} \cdot t_{от}) \cdot (1 + \beta_{рем}), \tag{16}$$

где $Q_{сут.п}$, $Q_{сут.от}$ — расчётные суточные объёмы прибытия и отправления, ДФЭ/сут (с учётом порожних); $t_{пр}$, $t_{от}$ — сроки хранения, сут; $\beta_{рем} = 0{,}03$ — доля ёмкости под неисправные контейнеры.

Сравнение. Если расчётная ёмкость одной площадки (нитки) меньше $R_{тр}$, принимается несколько площадок (нитей) — по числу путей и кранов. В пояснительной записке приводится сопоставление R и $R_{тр}$, рассчитывается резерв ёмкости:

$$\Delta R = (R - R_{тр}) / R_{тр} \cdot 100\ \%. \qquad (17)$$

Рекомендуемый резерв — 10–20 %. При резерве менее 5 % необходимо предусмотреть дополнительные ярусы хранения порожних контейнеров или резервную площадку.

4.4. Потребное число средств механизации

Потребное число подъёмно-транспортных машин:

$$N_м = Q_{сут} \cdot (1 - \alpha_н) \cdot k_н / (Q_{см} \cdot n_{см}), \qquad (18)$$

где $\alpha_н$ — доля контейнеров, перегружаемых по прямому варианту (из вагона в автомобиль и обратно, минуя склад); $Q_{см}$ — сменная норма выработки механизма, конт/смену: $Q_{см} = Q_ч \cdot 7$, где $Q_ч$ — норма выработки, конт/ч (RMG — 12, RTG — 26, SC — 13, ричстакер — 15); $n_{см} = T/7$ — число смен работы; T — время работы терминала по приёму и выдаче контейнеров, ч.

Полученное значение округляется в большую сторону. Число кранов должно быть не меньше числа обслуживаемых нитей (пролётов) контейнерного двора.

4.5. Перерабатывающая способность терминала

Оборачиваемость контейнеров и средний срок хранения:

$$\bar{\tau} = (t_{пр} + t_{от}) / 2; \qquad \eta = 365 / \bar{\tau},\ \text{1/год}. \qquad (19)$$

Перерабатывающая способность по ёмкости площадки:

$$П_{емк} = R \cdot 365 / (\bar{\tau} \cdot (1 + \beta_{рем})),\ \text{ДФЭ/год}. \qquad (20)$$

Перерабатывающая способность по средствам механизации:

$$П_{мех} = N_м \cdot Q_ч \cdot n_{ДФЭ} \cdot T \cdot 365,\ \text{ДФЭ/год}. \qquad (21)$$

Перерабатывающая способность терминала принимается по лимитирующему фактору:

$$П = \min\{П_{емк};\ П_{мех}\}. \qquad (22)$$

Коэффициент использования перерабатывающей способности:

$$K_{исп} = Q_{год} / П, \qquad (23)$$

где $Q_{год}$ — годовой грузооборот терминала в ДФЭ (с порожними). Значение $K_{исп}$ должно находиться в пределах 0,7–0,9; при $K_{исп} > 0{,}95$ необходимо увеличить ёмкость или число механизмов.

Число мест на стоянке грузовых автомобилей:

$$R_а = (N_{пр} + N_{от}) \cdot t_{ст} / T, \qquad (24)$$

где $N_{пр}$, $N_{от}$ — число прибывающих и отправляемых автомобилей в сутки; $t_{ст}$ — время стоянки автомобиля на терминале, ч. Принятое число мест увеличивается на 20–30 % (перспектива, неравномерность).

4.6. Требования к чертежу генерального плана

Чертёж выполняется на листе А1 в масштабе 1:1000 (допускается 1:500, 1:2000) и должен содержать перечисленные ниже элементы.

Обязательные элементы чертежа:

граница земельного участка и ограждение территории (по контуру участка);
контейнерные площадки с разбивкой на секции, ряды и места, с указанием числа ярусов и специализации (гружёные, порожние, ремонтный фонд);
подкрановые пути и условное изображение кранов (RMG, RTG, SC, ричстакеров);
железнодорожное путевое развитие: входной путь, погрузочно-разгрузочные пути, выставочный путь, стрелочные переводы, входной стрелочный перевод в границах терминала;
крытый склад с погрузочно-разгрузочной рампой (пролёты 18 или 24 м, длина кратна 6 м);
внутриплощадочные автодороги: 6 м — одностороннее движение, 11 м — двустороннее, 19 м — в местах погрузки контейнеров; радиусы поворота не менее 12 м, разворот на 90° — не менее 35 м;
одностороннее кольцевое движение автотранспорта против часовой стрелки;
два въезда с противоположных сторон участка: КПП-1 — действующий, КПП-2 — аварийный;
административно-бытовой корпус площадью 400–600 м², расположенный у выезда;
трансформаторная подстанция 5×5 м на расстоянии не менее 24 м от АБК и крытого склада;
стоянки грузовых (ширина 18 м, 4 м на автомобиль) и легковых (ширина 6 м, 2,5 м на автомобиль) автомобилей;
зону технического обслуживания и ремонта контейнеров; площадку для хранения тары и мусора (не менее 15 м от зданий);
кольцевые противопожарные проезды (не менее 4 м, вокруг склада шириной более 100 м — 6 м), противопожарную зону шириной не менее 10 м от ограждения до штабелей;
тротуары и пешеходные дорожки шириной 2–3 м;
размерные линии основных габаритов, стрелку «север — юг» и розу ветров;
экспликацию зданий и сооружений;
технико-эксплуатационные показатели (ТЭП);
условные обозначения;
примечания;
основную надпись по ГОСТ 2.104 (форма 1).

Требования к ТЭП: площадь земельного участка; площадь полезной застройки; площадь контейнерных площадок; размеры контейнерного двора; ёмкость в ДФЭ; годовой грузооборот; перерабатывающая способность; число и тип средств механизации; суммарная длина железнодорожных путей; коэффициент застройки территории.

Оформление: линии — по ГОСТ 2.303; условные графические обозначения — по ГОСТ 21.204 и ГОСТ 21.508; подписи объектов — по ГОСТ 21.1101. Чертёж рекомендуется выполнять средствами автоматизированного проектирования (nanoCAD, КОМПАС, AutoCAD, LibreCAD) и сдавать в формате PDF с приложением исходного файла.

4.7. Состав отчёта по Задаче 2

расчёт площади земельного участка и предварительных площадей;
расчёт ёмкости и геометрических размеров контейнерных площадок;
сравнение расчётной и требуемой ёмкости, обоснование числа нитей (площадок);
расчёт числа средств механизации и перерабатывающей способности;

описание принятых проектных решений по генплану (по зонам);
чертёж генплана (лист А1) в приложении;
таблица ТЭП в тексте и на чертеже.

Контрольные вопросы. 1) Что ограничивает перерабатывающую способность терминала — ёмкость или механизмы — и как это определяется? 2) Почему ёмкость площадки определяют в ДФЭ, а не в физических контейнерах? 3) Какие нормативные требования определяют взаимное расположение склада, контейнерных площадок и автодорог? 4) Зачем нужен запас ёмкости 10–20 %? 5) Как связаны длина фронта подачи и длина контейнерного двора?

5. ЗАДАЧА 3. СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ТЕРМИНАЛА

5.1. Постановка задачи

Расчёты Задач 1 и 2 выполнены для «расчётных» суток со средними значениями интенсивностей. Реальный терминал работает в условиях неравномерности: подачи вагонов приходят отдельными группами, автомобили — с суточным пиком, сроки хранения контейнеров колеблются, уборка поездов может задерживаться. Цель Задачи 3 — построить системно-динамическую модель работы терминала, проверить, обеспечивает ли проектное решение устойчивую работу при этих колебаниях, и обосновать корректировки генплана.

Инструмент моделирования — веб-среда **InsightMaker** (insightmaker.com). Регистрация бесплатна; модель сохраняется в личном кабинете, ссылка на неё приводится в пояснительной записке и открывается на защите.

5.2. Концептуальная схема модели

Модель описывает движение контейнеров через терминал в единицах ДФЭ и время в сутках. Границы модели: от подвода подачи вагонов и прибытия автомобилей до погрузки контейнеров в вагоны и выдачи их автотранспортом. Внутридворовые перестановки не моделируются (учитываются коэффициентом в норме выработки).

Таблица 5.1 — Переменные модели (стоки)

Сток	Обозначение	Единица	Смысл	Начальное значение
Контейнеры в вагонах на фронте	S_1	ДФЭ	контейнеры поданной подачи, ожидающие выгрузки	0
Зона «по прибытию»	S_2	ДФЭ	выгруженные контейнеры, ожидающие выдачи автотранспортом	$Q_{сут.п} \cdot t_{пр}$
Зона «по отправлению»	S_3	ДФЭ	принятые контейнеры, ожидающие погрузки в вагоны	$Q_{сут} \cdot t_{от}$
Автомобили в очереди	S_4	рейс	автомобили, ожидающие обслуживания на авто фронте	0

Таблица 5.2 — Потоки и вспомогательные переменные модели

Переменная	Тип	Формула / значение
$F_{под}$ — подвод подачи	поток	IF(MOD(TIME; 1/p) < $\tau_{окна}$; $V_{подачи}$ / Δt; 0), где $V_{подачи} = m \cdot n_{пл} \cdot n_{ДФЭ}$
$F_{выгр}$ — выгрузка вагонов	поток	MIN(S_1/Δt; $П_{кр}$) в течение окна работы фронта
$F_{рейс}$ — прибытие автомобилей	поток	$N_{рейс} \cdot k_{пик}$·(1,6 в период 8:00–20:00; 0,4 в остальное время)
$F_{обсл}$ — обслуживание	поток	MIN(S_4/Δt; $n_а \cdot П_а \cdot 24$)

автомобилей		
$F_{выд}$ — выдача из зоны прибытия	поток	$S_2 / t_{пр}$
$F_{погр}$ — погрузка в вагоны	поток	$S_3 / t_{от}$
$П_{кр}$ — крановая переработка	константа	$N_м \cdot Q_ч \cdot n_{ДФЭ} \cdot 24$, ДФЭ/сут
R — ёмкость двора	константа	из Задачи 2, ДФЭ
$K_{исп}$ — использование ёмкости	индикатор	$(S_2 + S_3) / R$

Система уравнений модели (метод Эйлера, шаг $\Delta t = 1/96$ сут = 15 мин, горизонт моделирования 30 сут):

$$dS_1/dt = F_{под} - F_{выгр}; \quad (25)$$

$$dS_2/dt = F_{выгр} + 0{,}5 \cdot F_{обсл} \cdot n_{ДФЭ} - F_{выд}; \quad (26)$$

$$dS_3/dt = F_{выд} - F_{погр}; \quad (27)$$

$$dS_4/dt = F_{рейс} - F_{обсл}. \quad (28)$$

Условие неотрицательности стоков задаётся функцией MAX(0; …) при численном интегрировании. Коэффициент 0,5 при $F_{обсл}$ отражает то, что половина рейсов выполняется на вывоз импортных контейнеров (из зоны «по прибытию»), половина — на привоз контейнеров под отправление.

5.3. Порядок построения модели в InsightMaker

Шаг 1. Регистрация и создание модели. Войти на insightmaker.com, создать новую модель (New Insight → Blank Model), задать имя «Контейнерный терминал, вариант N». В настройках модели (Settings) установить: время окончания симуляции 30, шаг интегрирования 1/96, метод — Euler.

Шаг 2. Задание глобальных параметров. Добавить 9 переменных (Variables) с типом «Parameter»: R, $П_{кр}$, p, $V_{подачи}$, $t_{пр}$, $t_{от}$, $n_а$, $П_а$, $N_{рейс}$, $k_{пик}$. Значения взять из таблицы 5.3. Для каждой переменной указать единицу измерения и комментарий.

Шаг 3. Размещение стоков. Добавить 4 стока (Stock): S_1, S_2, S_3, S_4. Задать начальные значения по таблице 5.1 (S_2 и S_3 — формулы, а не числа).

Шаг 4. Размещение потоков. Добавить 6 потоков (Flow): $F_{под}$ (втекает в S_1), $F_{выгр}$ (S_1 → S_2), $F_{рейс}$ (втекает в S_4), $F_{обсл}$ (вытекает из S_4), $F_{выд}$ (вытекает из S_2 и втекает в S_3), $F_{погр}$ (вытекает из S_3). Для потоков между стоками использовать «двухголовые» стрелки (Flow с двумя концами).

Шаг 5. Ввод уравнений. В поле Equation каждого потока ввести выражение из таблицы 5.2. Для периодических событий использовать функцию MOD(TIME; период). Проверить, что размерности «ДФЭ/сут» согласованы во всех потоках.

Шаг 6. Индикаторы. Добавить 4 вспомогательные переменные-индикатора: $K_{исп} = (S_2+S_3)/R$; $K_{кран} = (F_{выгр}+F_{погр})/П_{кр}$; очередь = S_4; запас = S_2+S_3.

Шаг 7. Запуск и проверка. Запустить симуляцию (Run Simulation). Убедиться, что через 5–7 модельных суток стоки выходят на установившийся режим; значения не отрицательны; $K_{исп}$ не превышает 1 в базовом сценарии. При отрицательных значениях включить ограничение MAX(0; …).

Шаг 8. Оформление диаграмм. Для каждого стока и индикатора вывести график (Display → Time Series). Подписать оси и единицы измерения, включить линии уровней R и $R_{тр}$. Экспортировать графики изображениями (PNG) для пояснительной записки.

Шаг 9. Сохранение и ссылка. Сохранить модель (Save), открыть доступ по ссылке (Share → Public) и скопировать ссылку в раздел 3 пояснительной записки.

Значения параметров модели для расчёта (пример для варианта 1) приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 — Значения параметров модели (пример, вариант 1)

Параметр	Обозначение	Значение	Единица
Ёмкость контейнерного двора	R	5112	ДФЭ
Нормативная потребность в ёмкости	$R_{тр}$	4314	ДФЭ
Число козловых кранов	$N_м$	2	шт.
Крановая переработка	$П_{кр}$	1152	ДФЭ/сут
Число подач в сутки	p	4	1/сут
Контейнеров в подаче	$V_{подачи}$	76	ДФЭ
Срок хранения по прибытию	$t_{пр}$	7	сут
Срок хранения по отправлению	$t_{от}$	5	сут
Число постов авто фронта	$n_а$	2	шт.
Производительность поста	$П_а$	4	ДФЭ/ч
Число рейсов автомобилей	$N_{рейс}$	70	рейс/сут
Прибытие по железной дороге	$Q_{сут.п}$	279	ДФЭ/сут

5.4. Сценарные эксперименты

В модели последовательно проверяются пять сценариев; для каждого фиксируются максимальное значение запаса на площадке, максимальная очередь автомобилей, время ожидания автомобиля, коэффициент использования кранов и коэффициент использования ёмкости.

Таблица 5.4 — Сценарии моделирования

Сценарий	Что изменяется в модели	Что проверяется
S0. Базовый	параметры по таблице 5.3	сходимость модели с расчётом Задачи 2
S1. Пиковые сутки	$k_{пик}$ = 1,35 к интенсивностям подач и рейсов	достаточность ёмкости при коэффициенте суточной неравномерности
S2. Задержка вывоза	$t_{пр}$ увеличивается до 28 сут	влияние нарушения сроков вывоза клиентурой на заполнение площадки
S3. Отказ механизма	$N_м$ = 1 ($П_{кр}$ уменьшается вдвое)	устойчивость при отказе одного крана
S4. Прямой вариант	потоки через площадку уменьшаются на 30 %	эффект перегрузки по прямому варианту «вагон — автомобиль»

5.5. Верификация и корректировка генплана

Верификация выполняется сравнением установившегося запаса контейнеров в модели с нормативной потребностью $R_{тр}$, рассчитанной в Задаче 2:

$$\delta = |(S_2 + S_3)_{max} - R_{тр}| / R_{тр} \cdot 100\ \%. \qquad (29)$$

Расхождение не должно превышать 10 %; при большем расхождении необходимо проверить уравнения, начальные значения и продолжительность моделирования.

По результатам сценариев формулируется вывод о работоспособности проекта и, при необходимости, перечень корректировок, которые вносятся в Задачу 2 и в чертёж генплана: увеличение числа ярусов хранения порожних контейнеров; увеличение числа постов на автомобильном фронте или числа кранов; выделение резервной площадки; изменение специализации секций (например, выделение секции для контейнеров с просроченным сроком хранения); включение в договор с клиентурой предельного срока хранения. Каждая корректировка должна быть обоснована количественно.

5.6. Состав отчёта по Задаче 3

концептуальная схема модели (строки, потоки, связи — рисунок или схема);
таблицы переменных и параметров;
скриншоты модели и графиков из InsightMaker;
результаты всех пяти сценариев (сводная таблица);
верификация и вывод о работоспособности проекта;
перечень корректировок генплана с обоснованием;
ссылка на модель в InsightMaker.

Контрольные вопросы. 1) Почему модель строится в единицах ДФЭ, а не в физических контейнерах? 2) Что произойдёт с очередью автомобилей, если уменьшить число постов авто фронта вдвое? 3) Почему при задержке вывоза запас растёт, а не остаётся постоянным? 4) Как по модели определить необходимое число кранов? 5) В чём отличие системно-динамической модели от имитационной модели дискретных событий?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Элемент	Содержание
Титульный лист	по образцу кафедры
Оценочный лист	форма кафедры
Задание на курсовой проект	заполненный бланк с данными варианта
Содержание	с номерами страниц
Введение	актуальность, цель, состав проекта — 1,5–2 с.
Раздел 0. Грузовая единица и контейнер	3–5 с., результаты ранее выполненных работ
Задача 1. Грузопоток терминала	6–8 с.
Задача 2. Генеральный план терминала	10–14 с.
Задача 3. Системно-динамическая модель	8–10 с.
Заключение	выводы по всем задачам, 1,5–2 с.
Библиографический список	не менее 15 источников
Приложения	чертёж генплана (А1), схема полигона, календарное расписание, перевозочные документы, скриншоты модели

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ ГЕНПЛАНА (для экспликации)

№	Наименование объекта	Примечание
1	Административно-бытовой корпус (АБК)	400–600 м²
2	Крытый склад тарно-штучных грузов	пролёты 18 или 24 м
3	Контейнерная площадка № 1 (гружёные контейнеры)	по расчёту
4	Контейнерная площадка № 2 (порожние, ремонтный фонд)	по расчёту
5	Проезды вдоль площадок и места погрузки	25 м / 19 м
6	Главная внутриплощадочная автодорога	11 м
7	Кольцевой противопожарный проезд	4–6 м
8	Железнодорожные погрузочно-разгрузочные пути	не менее 2
9	Железнодорожный выставочный путь	по расчёту
10	Зона технического обслуживания и ремонта контейнеров	по расчёту
11	Трансформаторная подстанция	5 × 5 м
12	Стоянка грузовых автомобилей	18 м
13	Стоянка легковых автомобилей	6 м
14	Площадка для хранения тары и мусора	не менее 15 м от зданий
15	КПП-1 (действующий въезд)	по расчёту
16	КПП-2 (аварийный въезд/выезд)	по расчёту
17	Кран козловой рельсовый / пневмоколёсный / автопогрузчик	по числу кранов
18	Пожарный водоём или резервуар	по нормам

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 52524–2005 (ИСО 6346:1995). Контейнеры грузовые. Кодирование, идентификация и маркировка. — М.: Стандартинформ, 2006.

2. ГОСТ 9238–2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. — М.: Стандартинформ, 2014.

3. СП 316.1325800.2017. Терминалы контейнерные. Правила проектирования. — М.: Стандартинформ, 2018.

4. СП 262.1325800.2016. Контейнерные площадки и терминальные устройства на предприятиях промышленности и транспорта. Правила проектирования и строительства. — М.: Стандартинформ, 2017.

5. ГОСТ 21.508–2020. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. — М.: Стандартинформ, 2020.

6. ГОСТ 2.104–2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. — М.: Стандартинформ, 2006.

7. Маликов О. Б. Проектирование контейнерного терминала: учебное пособие / О. Б. Маликов, Е. К. Коровяковский, Ю. В. Коровяковская. — СПб.: ПГУПС, 2015.

8. Маликов О. Б. Технико-технологическое обеспечение мультимодальных перевозок: конспект лекций. — СПб.: ПГУПС.

9. Калмыков М. Ю., Коровяковский Е. К. Контейнерная транспортная система. Раздел II. Технология работы контейнерного пункта: методические указания к курсовому проекту. — СПб.: ПГУПС, 2018.

10. Коган Л. А. Контейнерная транспортная система. — М.: Транспорт, 1991.

11. Бондарчук Е. А. Контейнеры: практическое пособие. — СПб.: Выбор, 2006.

12. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. — М.: Юртранс, 2003.

13. Тарифное руководство № 4. Книги 1–3. Алфавитный список железнодорожных станций.

14. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации (Федеральный закон от 10.01.2003 № 18-ФЗ).

15. Федеральный закон от 08.11.2007 № 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта».