



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Прогноз усиления ветра на аэродроме Костанай»

Исполнитель Жумабаева Гульнар Бердибековна ПМЗ-Б16-1-3

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

(ученая степень, ученое звание)

Новикова Нина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«05» июня 2021 г.

Санкт-Петербург
2021

Содержание

	стр.
Введение.....	3
1 Ветер в атмосфере.....	5
1.1. Понятие о ветре.....	5
1.2 Пространственное и временное распределение и изменчивость скорости ветра.....	13
1.3 Влияние ветра на полеты авиации.....	15
2. Прогноз ветра.....	26
2.1 Прогноз ветра у земной поверхности.....	26
2.2. Региональный прогноз ветра.....	31
3. Режим ветра на аэродроме Костанай.....	36
3.1 Физико-географическое описание района аэродрома Костанай.....	36
3.2 Общие сведения о климате района аэродрома Костанай.....	37
3.3 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на аэродроме Костанай.....	38
3.4 Характеристика данных и результаты обработки информации.....	42
3.5. Прогноз ветра на аэродроме Костанай.....	44
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	48
Приложение А.....	49
Приложение Б.....	63

Введение:

Ветер представляет собой одно из интереснейших явлений природы. Среди всех величин и явлений, которые объединяются понятием “погода”, ветру принадлежит определяющая роль.

Ветер – это движение воздуха относительно земной поверхности, которое для заданной точки пространства описывается вектором характеризующимся скоростью и направлением. Он возникает при сложных атмосферных процессах различного масштаба, от молекулярного до макромасштаба (синоптические процессы).

Ветер оказывает большое влияние на многие стороны деятельности человека, в сфере сельскохозяйственного производства, а также на растительный и животный мир Земли. Велика зависимость от ветра различных видов транспорта, в первую очередь авиации.

Несмотря на развитие авиационной техники и основание самолётов и аэродромов современным оборудованием и приборами, ветер остается до настоящего времени таким явлением, которое наиболее существенно влияет на взлёт, посадку или полёт самолёта. Ветер в полном виде имеет горизонтальную и вертикальную составляющие, но, как правило, под ветром подразумевается только горизонтальная составляющая движения воздуха, поскольку именно она определяется обычными метеорологическими приборами. Вертикальная составляющая ветра в нижнем слое атмосферы в большинстве случаев существенно меньше горизонтальной и поэтому ею обычно пренебрегают. В тех же случаях, когда она достигает больших значений (например, при конвекции или под влиянием аэрографии), ее называют восходящими и нисходящими вертикальными потоками.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ режима ветра на аэродроме Костанай и анализ метода прогноза скорости ветра, применяемого на аэродроме.

Задачи выпускной квалификационной работы:

Проанализировать причины возникновения ветра и влияние ветра на взлет и посадку самолетов;

Подготовить данные для анализа режима ветра на аэродроме Костанай

Определить повторяемость направления и скорости ветра

Оценить возможности дальнейшего использования метода А. С. Зверева для прогноза скорости ветра на аэродроме

В первой главе выпускной квалификационной работы рассматриваются причины возникновения ветра и влияние ветра на взлет и посадку самолетов.

Вторая глава содержит методы прогноза ветра у земли и региональные прогнозы скорости ветра.

В третьей главе рассматривается режим ветра на аэродроме Костанай и дается оценка метода прогноза скорости ветра.

В заключении приведены выводы по работе.

1 Ветер в атмосфере

1.1. Понятие о ветре.

Первопричиной возникновения ветра в атмосфере является неравномерное распределение атмосферного давления по земному шару. Как в сообщающихся сосудах уровень жидкости старается стать одинаковым, так и атмосферное давление у земли старается выровняться. Следовательно, в атмосфере возникает поток больших, вернее огромных, масс воздуха из районов с высоким атмосферным давлением в районы с пониженным давлением. Движение воздушных масс обусловлено силами барического градиента (G). Однако, как только возникает движение воздуха за счет силы барического градиента, сразу же возникает и сила Кориолиса (K), которая направлена в северном полушарии вправо под углом в 90° от направления начавшегося движения воздушных масс.

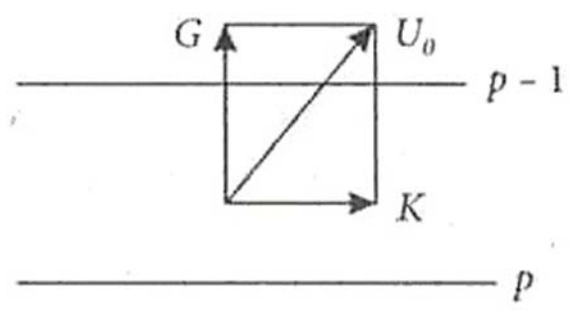


Рис. 1.1 – Пояснения к определению движения воздушных масс при наличии сил барического градиента (p — атмосферное давление)

В результате взаимодействия этих сил в начальный момент времени воздух начнет перемещаться в направлении U_0 (рис. 1.1).

Однако перемещение воздуха в направлении U_0 будет недолгим, т. к. снова возникнет сила Кориолиса, вновь поток воздуха отклонится вправо от направления движения, и снова процесс будет неустойчивым. Это будет происходить до тех пор, пока сила Кориолиса не уравновесит действие силы барического градиента. В этом случае воздушный поток станет устойчивым, и теперь можно рассмотреть его направление (рис. 1.2).

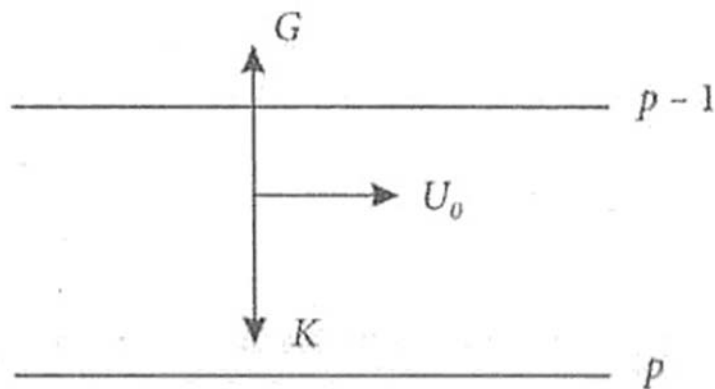


Рис. 1.2. – Установившееся движение воздушных масс

Как видно из рисунка, устойчивое направление перемещения воздушных масс, а это ветер, будет таким, при котором сила барического градиента уравнивается силой Кориолиса, возникающей при перемещении этих воздушных масс. На рис. 1.2 хорошо видно, что при отсутствии сил трения сила Кориолиса может уравновесить силу барического градиента только в том случае, если она будет направлена в сторону, противоположную силе барического градиента. Это обстоятельство автоматически приводит к тому, что ветер должен быть направлен параллельно изобарам, причем зона пониженного давления должна в северном полушарии оставаться слева по движению.

Установившееся горизонтальное движение воздуха в прямолинейных параллельных изобарах при отсутствии сил трения называется геострофическим ветром.

Известно, что скорость геострофического ветра определяется по следующей формуле:

$$U_0 = \frac{1}{2\rho\omega_z} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \quad (1.1)$$

где: $\omega_z = \omega \cdot \cos\varphi$;

ω – угловая скорость вращения земли;

φ – широта места;

$\frac{\partial p}{\partial n}$ — горизонтальный градиент давления; а сила Кориолиса (К)

равна:

$$K = 2\rho\omega\sin\varphi U \quad (1.2)$$

где: U — скорость ветра,

ρ — плотность воздуха.

Однако в пограничном слое атмосферы всегда существуют силы трения (F), в результате чего реально силу барического градиента уравнивает не одна, а две силы - сила Кориолиса и сила трения (рис. 1.3).

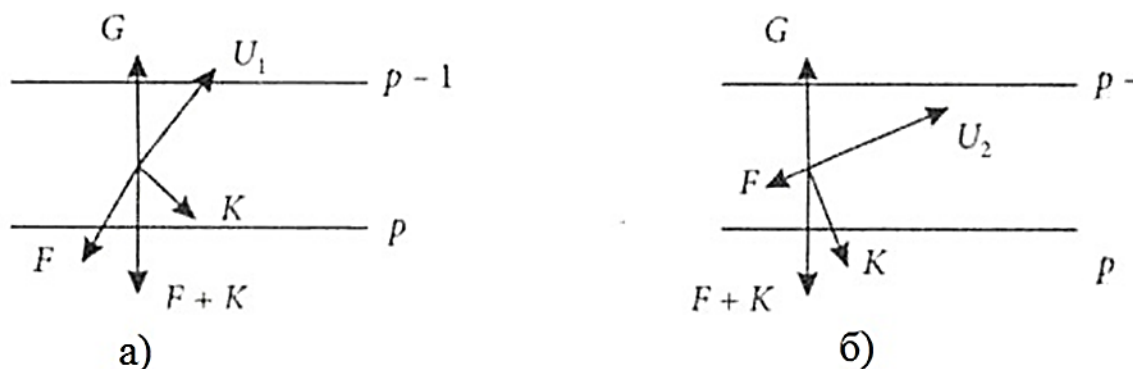


Рис. 1.3 – Оценка направления движения воздушных масс при различных значениях силы трения

Как видно из рисунка, в случае (а) и в случае (б) сила барического градиента уравнивается суммой сил Кориолиса и силой трения. Устойчивый воздушный поток (ветер) будет направлен вдоль U_1 , или U_2 , соответственно на левой и на правой части рисунка. Как говорится, невооруженным глазом видно, что в случае (а) сила трения F значительно больше, чем в случае (б). Также заметно, что угол между изобарой и вектором U_1 больше угла между изобарой и вектором U_2 . Следовательно, чем меньше сила трения, тем ближе к изобаре будет расположено направление ветра. [1]

Так как известно, что сила трения с увеличением высоты уменьшается, то и направление ветра с высотой приближается к изобарам (изогипсам). Это особенно хорошо заметно в пограничном слое атмосферы. Пограничный слой атмосферы - это слой атмосферы от земли до высоты 500 – 1500 м, в котором за счет земной поверхности и турбулентного обмена хорошо выражен суточный ход метеорологических элементов, уменьшающийся с высотой. Нижние 50 – 250 м пограничного слоя называются приземным слоем. В приземном слое всегда резко увеличивается коэффициент

турбулентности и, как следствие, большие и очень большие вертикальные градиенты метеорологических величин.

Изменение направления и скорости ветра с высотой хорошо описывается так называемой "спиралью Экмана", внешний вид которой показан на рис. 1.4.

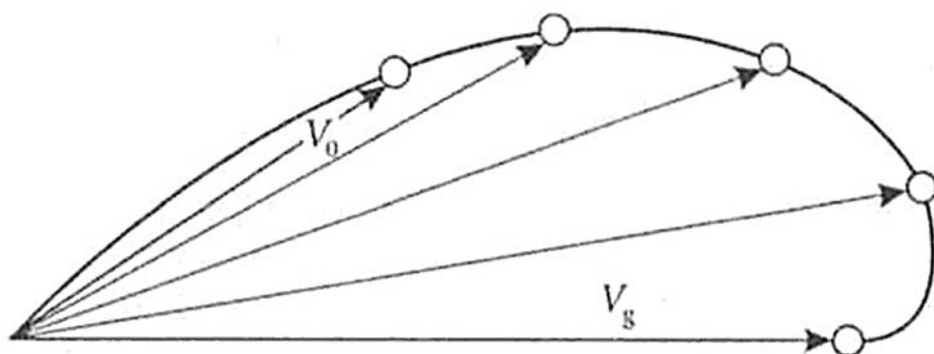


Рис. 1.4. – Спираль Экмана. V_g – геострофический ветер; V_0 – действительный ветер/

Рисунок 1.3 позволяет сделать еще один интересный вывод. Совершенно очевидно, что на этом рисунке низкое давление расположено в его верхней части, а высокое – в нижней. Внимательно посмотрев на рисунок, можно сделать вывод, что в циклонах ветер вращается против часовой стрелки и направлен к центру циклона, а в антициклонах, наоборот, вращение ветра происходит по часовой стрелке, а ветер направлен от центра антициклона (рис.1.5). Данное утверждение справедливо для северного полушария.

Отклонение направления ветра от направления изобар обусловлено силой трения, и чем больше сила трения, тем больше угол между изобарой и фактическим направлением ветра (см. рис. 1.3). Поэтому принято считать, что у земли ветер отклоняется от изобар над морем на $15-20^\circ$, а над сушей на $30-45^\circ$

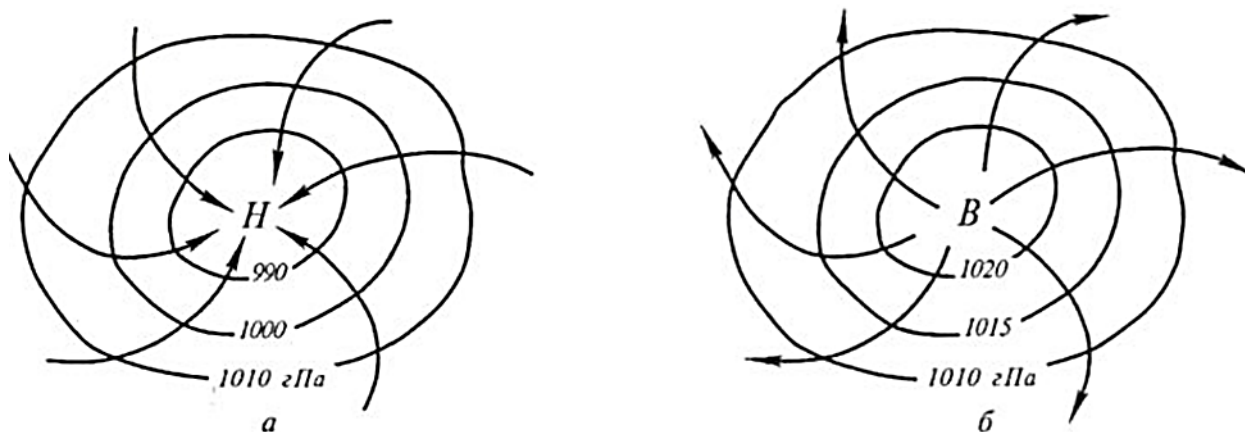


Рис. 1.5 – Ветер в основных барических образованиях.

Помимо геострофического ветра, о котором мы упоминали выше, существует еще несколько понятий о ветре. Рассмотрим эти понятия:

□ Градиентный ветер – ветер, наблюдающийся в круговых изобарах при отсутствии сил трения. Естественно, что в циклонах этот ветер направлен против часовой стрелки, а в антициклонах – по часовой стрелке и по касательной к изобаре.

□ Действительный ветер – реальный ветер в атмосфере с учетом сил трения. С увеличением высоты, из-за уменьшения силы трения, направление ветра постепенно приближается к изогипсе, поворачиваясь всегда (в циклонах и антициклонах) по часовой стрелке. Этот факт также наглядно проиллюстрирован на рис. 1.3.

□ Изаллобарический ветер - это такой ветер, который не совпадает с геострофическим из-за изменения давления во времени (а это изаллобары!). Отклонения изаллобарического ветра от геострофического редко превышают 20%. Этот ветер является, в основном, теоретическим, почти никогда не прогнозируется и используется только в некоторых численных схемах.

□ Термический ветер представляет собой приrost геострофического ветра от одного уровня к другому, более высокому, за счет среднего горизонтального градиента температуры в слое между этими уровнями.

Следовательно, термический ветер – это ветер в слое. Аналогично возникновению сил барического градиента, термический ветер возникает за счет сил горизонтального градиента температуры.

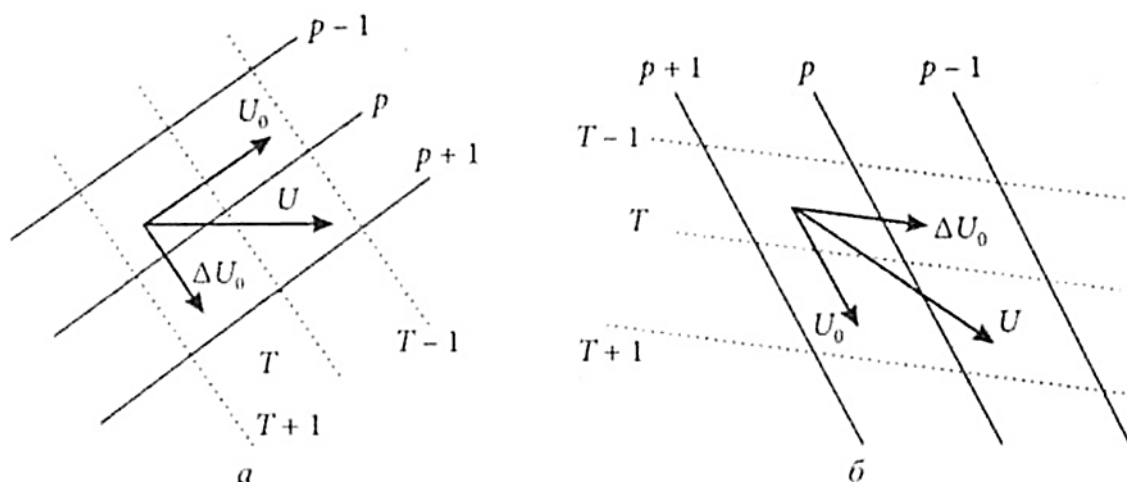


Рис. 1.6 – Пояснения к определению термического ветра: а – при адвекции тепла; б - при адвекции холода

Более теплый воздух, стараясь выровнять температуру, устремляется в сторону более холодного. А это уже поток массы воздуха, который станет устойчивым только тогда, когда будет направлен параллельно изотермам, причем так, что область холода останется слева (в северном полушарии). На рис. 1.6 представлены примеры термического ветра, который может наблюдаться при адвекции тепла и адвекции холода.

Как видно, на рис. 1.6 (а) приведен пример барического поля, в котором наблюдается адвекция тепла, а рис. 1.6 (б) – адвекция холода. Если обозначить скорость ветра на нижнем уровне через U_0 , термический ветер через ΔU_0 , а скорость ветра на верхнем уровне через U , то становится

очевидным, что при адвекции тепла имеет место поворот ветра по часовой стрелке, а при адвекции холода - против часовой стрелки.

Как видно из рисунка, при адвекции тепла (рис. 1.6, а) наблюдается правый поворот ветра, а при адвекции холода (рис 1.6, б) – левый поворот ветра. Этими правилами часто пользуются на практике, когда только по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы по изменению направления ветра с высотой приходится оценивать характер адвекции.

□ Средний ветер – это ветер в каком-нибудь слое атмосферы, который рассчитывается для нужд Министерства по чрезвычайным ситуациям или Министерства обороны.[1]

По данным зондирования атмосферы в произвольном масштабе на специальном бланке или листе бумаги строятся векторы ветра на различных уровнях, затем определяется результирующий вектор, а по нему – средний ветер в слое от высоты самого нижнего вектора до высоты самого верхнего. Направление среднего ветра сразу же указывает направление результирующего вектора, а для получения его скорости следует длину суммарного вектора разделить на количество просуммированных векторов (рис. 1.7).

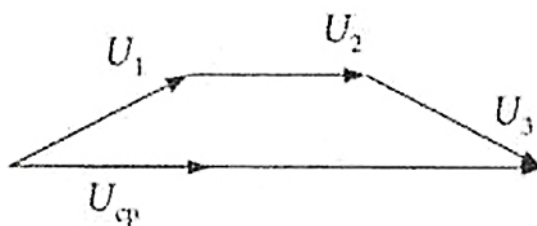


Рис. 1.7 – К определению среднего ветра

□ Относительный ветер – это ветер в какой-либо относительной системе координат. В отличие от абсолютного ветра, равного сумме скоростей ветра относительно земной поверхности и линейной скорости вращения земли, относительный ветер определяется только относительно земной поверхности.

□ Эквивалентный ветер. Понятие об эквивалентном ветре (ω) используется только при метеорологическом обеспечении авиации. Эквивалентный ветер – это такой расчетный ветер, который постоянен по величине, направлен по линии пути самолета и оказывает на полет такое же влияние, как и реальный ветер. В последнее время понятие эквивалентного ветра можно считать в какой-то мере устаревшим, т. к. на практике расчеты эквивалентного ветра сейчас выполняются крайне редко.

□ Струйное течение. Струйным течением называется сильный ветер в свободной атмосфере. Принято считать, что струйное течение существует, если на высотах более 5 км наблюдается ветер со скоростью более 30 м/с или 100 км/ч. Обычно струйное течение представляет собой узкую зону сильных ветров. По статистике высота струйного течения не превышает 10 км, ширина - нескольких сотен километров, а протяженность - нескольких тысяч километров, хотя известны случаи, когда струйное течение опоясывало весь земной шар. Максимальная скорость ветра, зарегистрированная в струйном течении над территорией России, равнялась 340 км/ч.

□ Мезоструйные течения. Мезоструйными течениями называются потоки воздуха со скоростями 15-30 м/с на высотах 200-500 м над поверхностью земли. Эти потоки часто наблюдаются над слоями инверсии, ночью в области низких антициклонов, имеющих большой наклон вертикальной оси. При наличии таких струй у земли ветер, как правило, не превышает 3 м/с. Исчезают мезоструи обычно через 2 – 3 часа после восхода Солнца (после разрушения приземной инверсии), однако зимой могут сохраняться долго, особенно в Арктике и Антарктиде [1].

1.2 Пространственное и временное распределение и изменчивость скорости ветра

Совместный анализ поля ветра у поверхности Земли и на различных высотах, который проводится с помощью приземных карт погоды и карт АТ, показывает, что поле ветра по мере удаления от подстилающей поверхности становится более гладким. При этом скорость ветра с высотой в среднем возрастает, достигая, чаще всего максимума вблизи тропопаузы. В умеренных широтах примерно на 80 % случаев максимум скорости ветра находится в верхней тропосфере или в слое тропопаузы, а в остальных случаях - в нижней стратосфере. Вместе с тем на фоне общего возрастания скорости ветра с высотой в тропосфере могут встречаться слои (преимущественно небольшой толщины), где скорость ветра с высотой убывает. На картах максимального ветра выделяются обширные вытянутые области сильных ветров в верхней тропосфере и нижней стратосфере, называемые струйными течениями. В пограничном слое атмосферы (выше приземного), где на воздух совместно действуют силы барического градиента, Кориолиса и трения, причем влияние последней с высотой убывает, скорость ветра хотя и продолжает возрастать, но это возрастание оказывается меньше, чем в приземном слое. Направление действительного ветра приближается к направлению градиентного, достигая его на верхней границе пограничного слоя.

В свободной атмосфере основное влияние на характер изменения ветра с высотой оказывает структура барического поля. Важной характеристикой поля ветра, которая привлекает внимание в последнее время, является вертикальный сдвиг ветра, который представляет собой векторную разность скоростей ветра на границах выбранного слоя.

Временная изменчивость направления ветра существенно зависит от его скорости: чем больше скорость, тем устойчивее направление ветра. Такой характер связи между скоростью и направлением ветра сохраняется в пределах всей тропосферы. Временная изменчивость скорости ветра в умеренных широтах мало зависит от времени года. Она возрастает с

увеличением скорости ветра, поэтому в свободной атмосфере наибольшая изменчивость скорости ветра наблюдается вблизи тропопаузы.

При анализе скорости и направления ветра приходится учитывать суточный ход. Амплитуда суточного хода, как правило, летом больше, чем зимой, и при ясной погоде больше, чем при пасмурной. При сильном прогреве подстилающей поверхности летом и при ясной погоде развиваются активные конвективные токи, способствующие обмену количеством движения между приземным слоем и более высокими слоями, где ветер сильнее. Поэтому скорость действительного ветра на уровне флюгера становится близкой к градиентной, а иногда даже превышает ее. Летом в ночные часы часто образуются приземные инверсии температуры, что ослабляет турбулентный обмен с вышерасположенными слоями воздуха. Это приводит к тому, что скорость действительного ветра на уровне флюгера становится существенно меньше скорости градиентного ветра, иногда в 2 – 3 раза.

Зимой, особенно при пасмурной погоде, когда амплитуда суточного хода температуры не превышает нескольких градусов, амплитуда суточного хода скорости ветра составляет всего 2 – 3 м/с. В свободной атмосфере амплитуда суточного хода скорости ветра значительно меньше, чем в приземном слое. В средней тропосфере она около 1 м/с, а в верхней – 1 – 2 м/с [2].

1.3 Влияние ветра на полеты авиации

Ветер по сравнению с другими характеристиками физического состояния атмосферы оказывает более существенное влияние на движение самолета на всех этапах полета.

Взлет и посадку самолета производят, как правило, против ветра. Это объясняется тем, что как при взлете, так и при посадке встречный ветер,

создавая дополнительный обдув самолета и увеличивая плотность набегающего воздушного потока, обеспечивает большую устойчивость и управляемость самолета. Вместе с тем встречный ветер уменьшает скорость отрыва и посадочную скорость относительно поверхности земли, а это приводит к сокращению длины разбега при взлете и длины пробега при посадке самолета (взлетно-посадочной дистанции).

При попутном ветре, наоборот, ухудшаются устойчивость и управляемость самолета за счет уменьшения суммарной скорости встречного воздушного потока. При этом увеличиваются скорости отрыва (посадки), что в свою очередь приводит к увеличению длины разбега (пробега) самолета.

Для оценки влияния скорости встречного ветра на время и длину разбега при взлете предположим, что самолет движется равномерно ускоренно с начальной скоростью, равной нулю, и с постоянным средним ускорением j . В момент отрыва, скорость самолета относительно земли в штилевых условиях должна достичь величины $V_{отр}$, а при встречном ветре со скоростью U и скорость самолета относительно земной поверхности в момент отрыва уменьшается на величину скорости встречного ветра и составит $V_{отр} - U$

Для равномерно ускоренного движения время разбега $t_{разб.0}$ при отсутствии ветра (при штиле) определяется по формуле:

$$t_{разб.0} = \frac{V_{отр}}{j} \quad 1.3)$$

а длина разбега $L_{разб.0}$ при штиле составит:

$$L_{разб.0} = \frac{V_{отр}^2}{2j} \quad 1.4)$$

С учетом снижения скорости отрыва самолета относительно поверхности земли при встречном ветре получим следующие соотношения:

$$\frac{t_{\text{разб.}u}}{t_{\text{разб.}0}} = \frac{V_{\text{отр}} - u}{V_{\text{отр}}} = 1 - \frac{u}{V_{\text{отр}}} \quad (1.5)$$

$$\frac{L_{\text{разб.}u}}{L_{\text{разб.}0}} = \left(1 - \frac{u}{V_{\text{отр}}}\right)^2 \quad (1.6)$$

где $t_{\text{разб.}u}$ и $L_{\text{разб.}0}$ — соответственно время и длина разбега при встречном ветре со скоростью u .

Отсюда следует, что чем больше отношение скорости встречного ветра к скорости отрыва самолета при штиле тем существеннее уменьшаются время и длина разбега самолета при взлете.

Аналогично можно оценить влияние встречного ветра на длину и время пробега самолета при посадке. Длина пробега уменьшается за счет снижения посадочной скорости самолета (относительно ВПП в момент касания) на величину скорости встречного ветра. Кроме того, встречный ветер создает дополнительное лобовое сопротивление, которое вместе с силой трения колес самолета значительно увеличивает абсолютное значение отрицательного ускорения самолета после касания ВПП, и длина пробега дополнительно сокращается. Поэтому при одинаковых значениях отношения пробег самолета при попутном ветре увеличивается больше, чем он уменьшается при встречном ветре.

Для снижения длины пробега применяются различные методы и устройства: тормозные щитки, тормозные парашюты, реверс тяги (изменение направления струи газов, выходящих из сопла ТРД). На самолетах укороченного взлета и посадки создается вертикальная составляющая тяги (девиация тяги), которая позволяет значительно уменьшить скорости отрыва

и посадки. При использовании средств торможения также необходимо учитывать влияние ветра.

1.3.1 Влияние направления ветра на взлет и посадку самолета.

Для выполнения взлета и посадки самолетов при встречном ветре при проектировании и строительстве ВПП ориентируют по возможности по преобладающему направлению ветра. Однако вследствие значительной изменчивости направления ветра взлет и посадку нередко приходится совершать при сильном боковом ветре или при ветре с большой боковой составляющей. Это существенно осложняет пилотирование самолета.

Если взлет самолета осуществляется при боковом ветре, возникают кренящий и разворачивающий моменты. Кренящий момент образуется из-за неравномерного обдува крыльев. На наветренной плоскости крыла подъемная сила возрастает, а на подветренной, наоборот, уменьшается, что может привести к опрокидыванию самолета на подветренную сторону. Разворачивающий момент возникает из-за того, что центр тяжести самолета и центр бокового давления ветра не совпадают, и это различие тем больше, чем больше парусность отдельных частей самолета (хвостового оперения по сравнению с фюзеляжем). Боковой ветер создает силу, стремящуюся развернуть самолет против ветра. При очень сильном боковом ветре возможен разворот самолета поперек ВПП.

Посадка при боковом ветре осложняется еще больше, чем взлет, вследствие сильного сноса самолета. Неточный учет ветра может привести к приземлению вне ВПП. Самолет, как и при взлете, подвержен воздействиям разворачивающего и кренящего моментов.

Для обеспечения безопасности устанавливается предельно допустимая для каждого типа самолета скорость бокового ветра или боковой составляющей ветра. Ее значение зависит от конструктивных особенностей

самолета и удельной нагрузки на крыло (отношения G/S). Чем больше удельная нагрузка на крыло, тем устойчивее самолет и больше предельно допустимая скорость бокового ветра. Так, сверхзвуковые самолеты с треугольным крылом, имеющие большие удельные нагрузки, способны взлетать и садиться при сильном боковом ветре. Для самолета Ил-86 предельно допустимая скорость бокового ветра при взлете и посадке составляет 15 м/с при сухой ВПП и снижается до 5 м/с в случае мокрой ВПП. Для легких самолетов скорость бокового ветра не превышает 10 м/с. Эти ограничения необходимо учитывать при метеорологическом обеспечении авиации, так как при превышении соответствующей предельно допустимой скорости бокового ветра взлет и посадка самолетов данного типа запрещаются.[2]

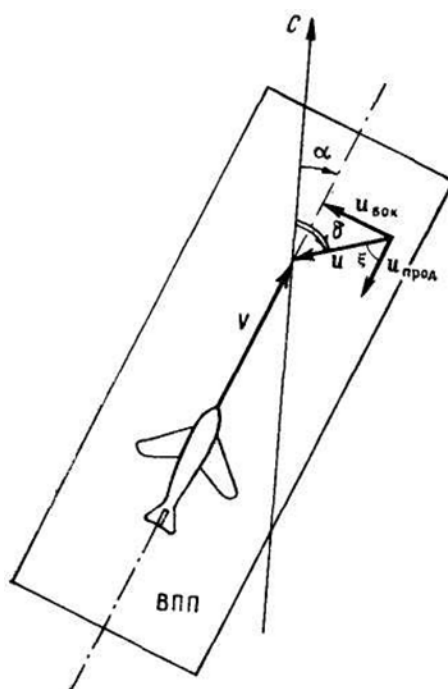


Рис. 1.8 – Определение боковой и продольной составляющих ветра.

Рассмотрим оценку допустимых значений скорости бокового ветра (боковой составляющей ветра) при взлете и посадке самолета (рис. 1.8). Если направление движения самолета (оси ВПП) определяется углом α , а ветер

имеет направление δ , т. е. направлен под углом $\xi = |\delta - \alpha|$ к ВПП, то боковая составляющая ветра «бок» определяется соотношением

$$U_{бок} = U \sin(|\delta - \alpha|) = U \sin \xi \quad 1.7)$$

Для определения скоростей ветра и углов ξ , при которых боковая составляющая ветра не превышает допустимого значения, можно пользоваться специальными таблицами, рассчитанными по формуле (1.7), или номограммой.

Таким образом, при метеорологическом обеспечении полетов необходимо учитывать влияние скорости и направления ветра на безопасность взлета и посадки.

1.3.2 Влияние сдвигов ветра на взлет и посадку воздушных судов на малых высотах

Понятие о сдвиге ветра. При пилотировании самолета в непосредственной близости от земной поверхности экипаж должен иметь информацию не только о скорости и направлении ветра, но и о возможных его резких изменениях вдоль траектории движения. Самолет пересекает самый нижний слой атмосферы в столь короткое время, что ограниченный запас высоты, скорости, приемистость двигателей не позволяют летчику своевременно парировать неожиданное изменение ветра. Отсутствие информации о резком усилении или ослаблении ветра явилось в ряде случаев одной из главных причин летных происшествий.

Характеристикой пространственной изменчивости ветра является сдвиг ветра — изменение направления и (или) скорости ветра в пространстве,

включая восходящие и нисходящие воздушные потоки. Сильные сдвиги ветра входят в число опасных для авиации явлений погоды.

Сдвиг ветра определяется как векторная разность векторов ветра, измеренных в двух точках пространства, которая отражает изменение, как скорости, так и направления ветра при перемещении от одной точки к другой. Модуль сдвига ветра $|\Delta u| = |u_2 - u_1|$ можно определить, например, по кругу Молчанова или аналитически по формуле

$$|\Delta u| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2u_1u_2\cos d} \quad 1.8)$$

где u_1 и u_2 — скорость ветра в двух точках,

d — угол между векторами ветра u_1 и u_2 .

В зависимости от взаимного расположения рассматриваемых точек в пространстве (обе точки лежат в вертикальной или в горизонтальной плоскости) различают сдвиг ветра соответственно вертикальный или горизонтальный.

В районе аэродрома горизонтальный сдвиг ветра можно определить по измерениям ветра вблизи различных стартов у ВПП, в точках установки датчиков ветра вокруг летного поля и т. д.

Вертикальный сдвиг ветра характеризует изменение ветра с высотой, например, по данным датчиков ветра, установленных на разных высотах на мачте, башне, на зданиях. Величина определяется по формуле

$$\beta = \frac{|\Delta u|}{\Delta z}, \quad 1.9)$$

где $|\Delta u| = |u_v - u_n|$ — модуль векторной разности векторов ветра на верхнем уровне и нижнем уровне соответственно, м/с;

Δz — толщина рассматриваемого слоя, м.

Следовательно, единицей измерения вертикального сдвига ветра является с^{-1} , однако для практических целей метеорологического обеспечения полетов значения β рассчитывают для слоя толщиной 30 м и указывают в м/с на 30.м. Иногда определяют сдвиг ветра в слое толщиной 100 м, при этом величина β выражается в 10^{-2}с^{-1} . В международных документах и зарубежной литературе встречаются и другие единицы измерения β , определяемые иными единицами измерения скорости ветра (узлы, фут/с, мили/ч и т. п.).

Кроме вертикального и горизонтального сдвигов ветра, в нижних слоях атмосферы могут наблюдаться вертикальные восходящие и нисходящие потоки, также приводящие к изменению траектории движения воздушного судна и включенные в общее понятие о сдвиге ветра. [2]

Повторяемость и значения вертикальных сдвигов ветра существенно зависят от периода осреднения данных о ветре и от толщины рассматриваемого слоя, причем увеличение пространственно-временного масштаба осреднения приводит к занижению значений β . В.Г. Глазунов предложил строить уточненную для пункта номограмму, отражающую эмпирическую зависимость средних значений β от толщины слоя Δz . Номограмма позволяет по значениям $|\Delta u|$ и определить Δz качественный термин сдвига ветра.

В нижнем 30-метровом слое повторяемость сильных и очень сильных сдвигов ветра невелика (около 3 %), однако при наблюдениях на мачтах отмечались сдвиги ветра, превышающие 20 м/с на 30 м. Такие резкие изменения ветра, несомненно, представляют опасность для взлета, посадки и полета ВС на малых высотах.

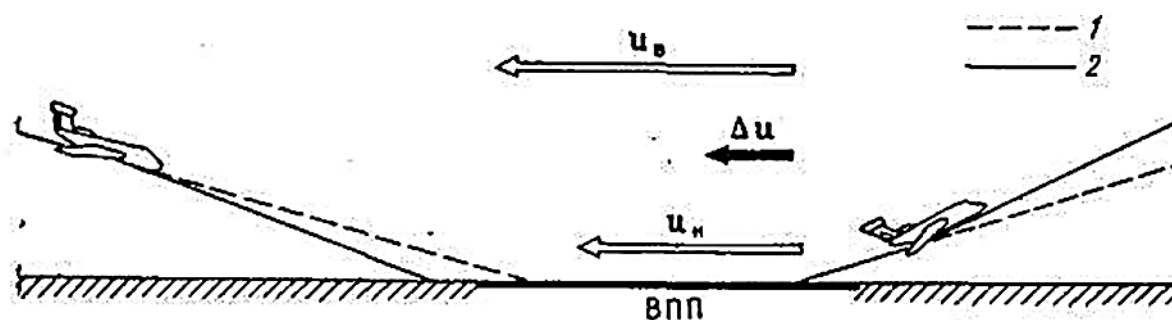


Рис. 1.9 – Пример влияния вертикального сдвига ветра на взлет и посадку. 1 — предполагаемая, 2 — действительная траектория движения ВС.

1.3.3 Условия взлета и посадки самолетов при наличии сдвига ветра.

Из-за большой массы (50—200 т) современный самолет обладает значительной инерцией, которая препятствует быстрому изменению скорости его движения относительно земной поверхности. Сохранение самолетом этой скорости при пересечении уровней с различным ветром приводит к изменению воздушной скорости и аэродинамических сил. В частности, вследствие того что подъемная сила крыла самолета Y прямо пропорциональна квадрату воздушной скорости, значительное изменение ветра вдоль траектории движения самолета вызывает резкое изменение воздушной скорости и соответственно подъемной силы и является причиной существенных отклонений самолета от начальной траектории набора высоты или глиссады снижения. Эти отклонения не всегда могут быть своевременно устранены пилотом из-за задержки реакции самолета на управляющие воздействия.

Характер отклонений от заданной траектории движения зависит от вида сдвига ветра, наблюдавшегося в данной зоне. Рассмотрим, например, случай резкого возрастания ветра с высотой. Самолет, при посадке движущийся против ветра, попадает в нижележащий слой с меньшим встречным ветром. При этом воздушная скорость уменьшается и,

следовательно, происходит уменьшение подъемной силы. В результате фактическая траектория движения самолета проходит ниже заданной глиссады, самолет «проваливается» и, несмотря на увеличение пилотом силы тяги двигателей, посадка может быть совершена с недолетом (рис. 1.9). Аналогичный случай наблюдается, если пилот вынужден совершать посадку при попутном ветре, который с высотой уменьшается. [2]

При взлете в условиях увеличения скорости встречного ветра с высотой на самолет, попадающий в слой более сильного ветра, будет действовать большая подъемная сила, чем на нижележащих уровнях, и его фактическая траектория набора высоты, как показано на рис. 1.9, будет лежать выше заданной (самолет «подбрасывает»). Это может привести к переходу на закритические углы атаки, к сваливанию самолета.

Большие трудности при пилотировании самолета встречаются и в случае резкого ослабления ветра с высотой. Посадка в таких условиях сопровождается «подбрасыванием» при движении со встречным ветром, перелетом заданной точки касания ВПП и выкатыванием за пределы дальней концевой полосы безопасности или за дальний конец ВПП.

Осложнения при взлете в случае ослабевающего с высотой встречного ветра возникают из-за падения подъемной силы и «проваливания» самолета, вследствие чего он может выйти за нижний предел сектора безопасного набора высоты. Так как при взлете практически нет возможности дополнительного резкого увеличения силы тяги, то возникает опасность столкновения самолета с окружающими аэродром препятствиями (высокие искусственные сооружения, рельеф местности).

Влияние горизонтального сдвига ветра на самолет также зависит от изменчивости ветра по горизонтали. Например, в случае резкого увеличения скорости встречного ветра в направлении полета (или уменьшения попутного ветра) будет наблюдаться «подбрасывание»; при значительном уменьшении

скорости встречного ветра (или ослаблении попутного) самолет будет «проваливаться».

Под действием сдвигов ветра самолет может испытывать не только эволюции в вертикальной плоскости, но и изменять направление движения.

Все это объясняет причину того, что сдвиг ветра относится к опасным для авиации атмосферным явлениям, информация о которых в оперативном порядке передается экипажам воздушных судов для обеспечения безопасности взлета и посадки.[2]

2. Прогноз ветра

Скорость и направление ветра оказывают значительное влияние на взлет, полет и посадку воздушного судна, изменяя как скорость, так и направление его движения. Сильный ветер может привести к повреждению ВС, находящихся на земле.

В зависимости от ветра в полете изменяются курс самолета и его путевая скорость, а это в свою очередь приводит к изменению продолжительности полета и расхода топлива. Прогноз ветра по высотам используется при предварительных штурманских расчетах. В настоящее время успешно функционирует автоматизированная система штурманского обеспечения полетов (АСШОП), которая позволяет заблаговременно на основе прогностических полей геопотенциала рассчитывать план-карту полета с указанием всех необходимых характеристик движения самолета [65]. Применение ЭВМ для штурманских расчетов дает возможность оптимизировать эти характеристики с учетом прогностического поля ветра и дает большой экономический эффект за счет корректного выбора режима полета.

Потребности автоматизации оперативной прогностической работы АМСГ за счет внедрения персональных ЭВМ также приводят к необходимости совершенствования методов прогноза ветра. Учет режима ветра по трассам осуществляется и при составлении расписания движения самолетов, но этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

2.1 Прогноз ветра у земной поверхности

Ветер является одной из самых изменчивых характеристик состояния атмосферы. В авиационных прогнозах указываются наиболее вероятные значения скорости и направления ветра у земной поверхности (на высоте

флюгера 10 м), на малых стандартных высотах 100, 200, 300, 400 и 500 м и на высоте круга, причем прогноз ветра на малых высотах основывается на прогнозе ветра у земли.

Поле ветра тесно связано с полем давления. Увеличение горизонтального градиента давления приводит к возрастанию скорости ветра. Для прогноза скорости ветра по прогностическим картам используется соотношение:

$$U = k_g U_g \quad 2.1)$$

где U_g — скорость градиентного ветра; k_g —коэффициент, зависящий от силы трения, от суточного хода температуры и стратификации, от местных особенностей рельефа и циркуляции. Эти зависимости детально обсуждаются как для синоптического, так и для расчетного способов прогноза ветра у земли. В последнем способе оцененная по значениям градиента давления скорость приземного ветра корректируется внесением поправок на кривизну изобар, на влияние атмосферных фронтов, на нестационарность в поле давления, на межуровенный обмен количеством движения и на влияние нисходящих конвективных движений.

Для оперативного обеспечения авиации прогнозами ветра в сроки, промежуточные по отношению к срокам синоптических карт, целесообразно пользоваться методами временной и пространственной экстраполяции.

В квазистационарных условиях, т. е. если не ожидается прохождения фронтов, развития грозовой деятельности, а также изменения ветрового режима под влиянием орографии и местной циркуляции, можно считать скорость и направление ветра у земли (и в приземном слое) неизменными в течение ближайших часов.

Если ожидаются изменение во времени барического градиента и значительный суточный ход скорости ветра, то экстраполяцию можно провести по формуле:

$$u' = \frac{\Delta p'}{\Delta p} u \pm \Delta u, \quad (2.2)$$

где: u' — ожидаемая скорость ветра;

u — исходное значение скорости ветра за последний срок наблюдений;

Δp — разность между давлением, приведенным к уровню моря в пункте расчета и давлением на одном из ближайших пунктов наблюдений, расположенном по нормали к изобарам на исходной карте погоды,

$\Delta p'$ — прогнозируемая разность давлений между теми же пунктами;

Δu — поправка на суточный ход скорости ветра.

Для авиации особенно важен прогноз сильного ветра у земли, в том числе местных ветров, которые подразделяются на ветры с суточной периодичностью (бриз, горно-долинный ветер) и ветры на горных перевалах и в горных проходах (новороссийская бора, байкальская сарма, урсатьевский ветер и др.). При прогнозе сильного местного ветра следует учитывать и развитие атмосферных процессов, приводящих к росту барического градиента, и местные особенности ландшафта.

Для прогноза сильного ветра над равнинной местностью рекомендуется применять следующие три способа

В первом способе используются фактические данные о ветре и о распределении температуры в нижнем двухкилометровом слое атмосферы, а прогноз максимального среднего ветра и максимального порыва у поверхности земли дается на ближайшие 8—10 ч от срока радиозондирования. С этой целью определяются наибольшая скорость ветра в нижнем двухкилометровом слое $u_{\text{макс}}$ (м/с); толщина слоя Δh (м), в котором

скорость ветра составляет не менее 15 м/с (если таких слоев несколько, то учитывается их суммарная толщина; если $u_{\text{макс}} < 30$ м/с, то слои инверсии и изотермии при подсчете Δh не учитываются); средний вертикальный градиент температуры γ ($^{\circ}\text{C}/100$ м) в слое между уровнем с наибольшей скоростью ветра и поверхностью земли. С увеличением произведения $A = u_{\text{макс}} \Delta h / 1000$ характеризующего запас кинетической энергии в слое значительных скоростей ветра, и, с ростом среднего градиента температуры γ , скорость ветра у поверхности земли возрастает.

График для определения максимальной скорости ветра при порывах по значениям A и γ приведен на рис. 2.1.

Второй способ прогноза сильных ветров предполагает наличие прогностической карты приземного барического поля заблаговременностью 24—36 ч, определение скорости геострофического ветра u_g и использование средних коэффициентов перехода от u_g к скорости фактического ветра. При этом учитывается преобладающее направление ветра и некоторое пороговое значение градиента давления. Так, если градиент давления окажется большим, чем его пороговое значение, а прогнозируемое направление ветра попадает в интервал преобладающего направления, то следует ожидать возникновения сильного ветра, скорость которого оценивается с помощью коэффициентов перехода от скорости геострофического ветра к фактическому.

Третий способ прогноза сильного ветра заключается в использовании уравнений множественной регрессии, в которых предикторы определяются по прогностическим картам давления у поверхности земли и геопотенциала изобарической поверхности 850 гПа на 24—36 ч

Все три способа при использовании в оперативной практике в той или иной степени подлежат корректировке с учетом местных особенностей.

При прогнозе ветра следует учитывать суточный ход скорости ветра и особенности местности в районе аэродрома.

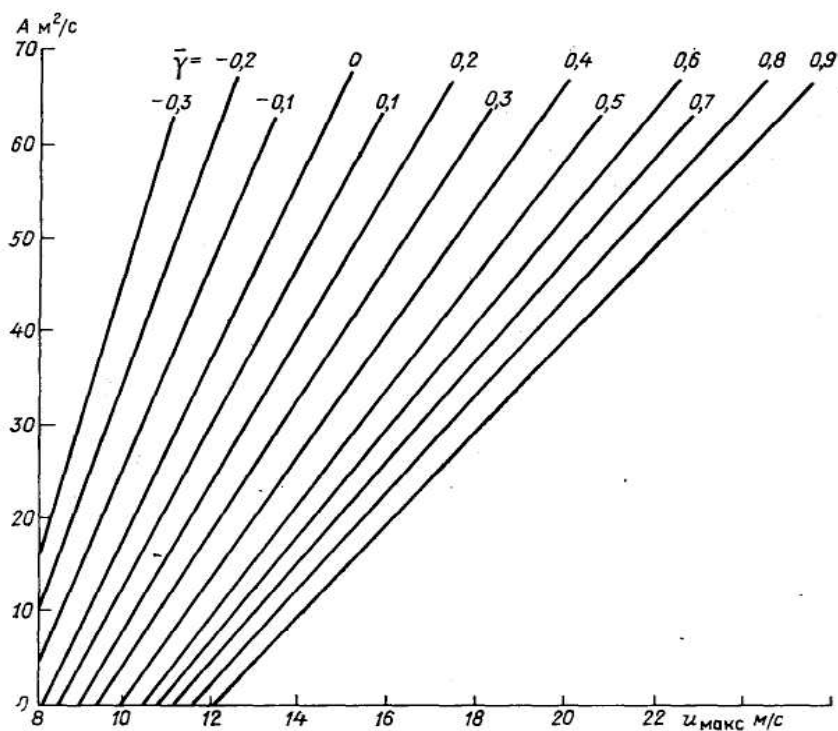


Рис. 2.1. – График для определения максимальной скорости ветра при порывах по значениям параметра A и среднего вертикального градиента температуры γ (по А. И. Снитковскому).

В дневные часы при ясной погоде за счет прогрева земной поверхности увеличивается вертикальный градиент температуры и, следовательно, обмен между верхними и нижними слоями воздуха. Вследствие этого скорость ветра у поверхности земли возрастает, достигая наибольших значений в послеполуденные часы. На юге Европейской части страны в летний период в жаркие солнечные дни максимальное значение скорости ветра у земли нередко составляет 10 м/с и более несмотря на малый барический градиент. Ночью в связи с уменьшением вертикального градиента температуры (и возможным образованием инверсии температуры) вертикальный обмен ослабевает, скорость ветра у поверхности земли уменьшается.

Суточный ход температуры воздуха обуславливает изменение и порывистости ветра у поверхности земли и в самом нижнем слое атмосферы:

неупорядоченные колебания скорости ветра, как и сама скорость, достигают максимума в середине дня.

Скорость ветра в приземном слое изменяется под воздействием рельефа (естественных препятствий, крупных строений), причем, чем больше скорость, тем влияние рельефа и неоднородностей подстилающей поверхности больше. При скорости ветра более 15 м/с даже на равнинной местности могут отмечаться сильные колебания скорости, связанные с турбулентностью и с образованием локальных изменений скорости и направления ветра вблизи границ изменения характера подстилающей поверхности. Эти возможные изменения ветра необходимо учитывать при метеорологическом обеспечении авиации.

При взлете и посадке самолетов особое внимание обращается на боковую составляющую ветра относительно оси ВПП, которая не должна превышать допустимых значений (с учетом типа самолета и состояния ВПП). Боковая составляющая ветра может быть определена по формуле:

$$U_{бок} = U \sin \alpha \quad (2.3)$$

где α — угол между направлением движения самолета и направлением ветра. Для определения величины $U_{бок}$ в оперативной практике целесообразно пользоваться специальными номограммами, на которых выделяются области значений скорости и направления ветра, соответствующих опасным значениям боковой составляющей ветра.[3]

2.2. Региональный прогноз ветра

Каждый отдельный регион обладает типовыми синоптическими процессами, которые обуславливают сезонный режим ветра,

продолжительность и повторяемость опасных явлений погоды, в том числе сильного ветра.

При прогнозе ветра учитывают направление и скорость ветра. Направление ветра может быть опасным для выполнения определенных работ потребителями прогноза – при взлете и посадке воздушных судов опасным является боковая составляющая ветра, от направления ветра зависит задымленность или загазованность района, закрытие территории низкой облачностью и туманами, в прибрежных районах может наблюдаться прибойная волна и т.д.

Скорость ветра, при превышении критических значений для данного региона становится опасным явлением

Региональный прогноз направления ветра дается на основании прогноза поля давления (на 12, 24 и 36 часов) по прогностическим приземным картам, поступающим в метеорологические подразделения.

В прогнозе скорости ветра в первую очередь предусматривается возможность усиления ветра до значений опасного явления погоды (15—29 м/с) и стихийного гидрометеорологического явления (30 м/с и более). Такие условия складываются:

1. в углубляющемся циклоне, в пределах которого градиент давления достигает 6 гПа/100 км и более, особенно в его тыловой части;
2. в смежной зоне активного развития циклона и антициклона;
3. на периферии антициклона, в области роста давления, где градиент давления достигает 3 гПа/100 км и более;
4. в зонах атмосферных фронтов, где градиент давления более 3 гПа/100 км. Во всех случаях дополнительно учитываются местные усиления ветра.

Особо опасными зонами значительных усилений ветра являются холодные фронты и фронты окклюзии по типу холодного, включая узкую зону за линией фронта с большими изаллобарическими градиентами. В

приземных фронтальных зонах, вытянутых на сотни километров, могут внезапно возникать шквалистые ветры ураганной силы, а при сильной термической неустойчивости воздушной массы возможны и смерчи.

При прогнозе скорости ветра учитываются те или иные определяющие ее факторы. По территории Белоруссии Р.М. Меджитов предложил прогнозировать скорость ветра по формуле вида:

$$V = A \frac{\Delta p_0}{\Delta S} = A \frac{5 \cdot 100}{\Delta S} \quad (2.4)$$

где: ΔS — расстояние между изобарами, в км.

Она получена с учетом того, что изобары проводятся через 5мб, а градиент давления рассчитывается в мб/100 км. Значения A находятся по каждому пункту региона по формуле:

$$A = \frac{V \cdot \Delta S}{500}, \text{ мб/100 км} \dots \dots \dots (2.5)$$

где V – фактическая скорость ветра.

Затем по номограмме по значениям A и ΔS прогнозируют скорость ветра в данном пункте. Этот метод используется на территории республики Беларусь.

Для прогноза, как видим, используется только прогностическое барическое поле и учитывается влияние особенностей подстилающей поверхности в том или ином пункте: шероховатости подстилающей поверхности (рельефа и ландшафта местности).

Для прогноза сильного ветра (15 м/с и более) на европейской части страны, с заблаговременностью 12 ч используется способ, разработанный Н. А. Лебедевой для Поволжья. В этом способе учитывается межуровенный обмен количеством движения. Скорость ветра у поверхности земли

прогнозируется по значению максимальной скорости ветра на уровне 850 гПа с учетом ее эволюции. Прогноз предусматривает выполнение следующих операций:

1. В зоне мезоструи на карте AT_{850} выделяется область с максимальным ветром $V_{\text{макс}}$ (рис. 2.2).

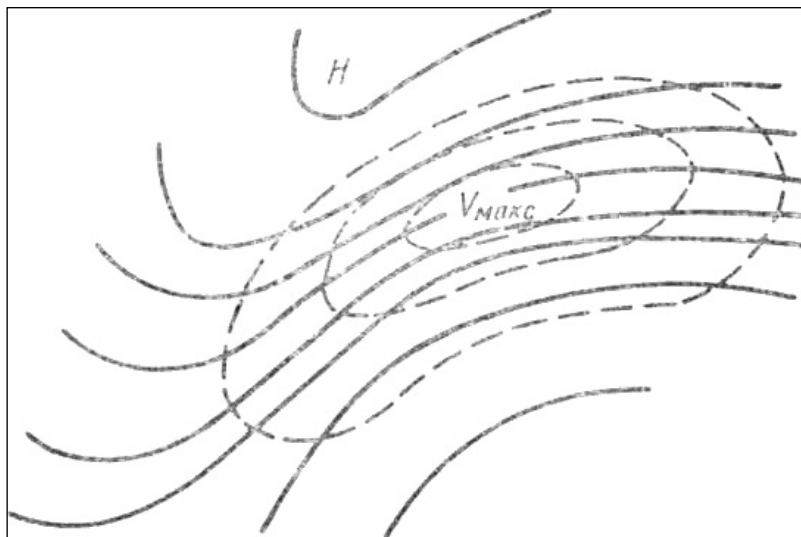


Рис. 2.2 – Область максимального ветра в мезоструйных течениях.

2. Область с максимальным ветром смещается в направлении изогипс AT_{850} со скоростью $0,5 V_{\text{макс}}$;

3. Устанавливается время начала и окончания скорости ветра 15 м/с по положению изотахи 70 км/ч (20м/с).

4. Максимальная скорость ветра у поверхности земли в зависимости от $V_{\text{макс}}$ в области с максимальным ветром определяется по графику (рис. 2.3).

5. Учитывается изменение высоты H_{850} : понижение H_{850} сопровождается усилением ветра, а повышение H_{850} - его ослаблением.

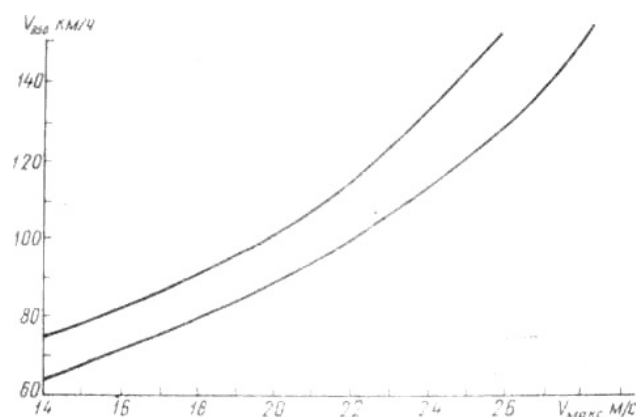


Рис. 2.3 - График для прогноза скорости ветра по способу Н. А. Лебедевой.

Так, при отрицательных изаллогипсах от 5 до 9 гпд скорость ветра в области максимального ветра увеличивается на 10 км/ч, при изаллогипсах в пределах 10 - 14 гпд - на 20 км/ч и в случае изаллогипс от 15 до 19 гпд - на 30 км/ч. При аналогичных положительных изаллогипсах скорость ветра уменьшается на те же величины.

Прогноз сильного ветра на 8-10 часов составляется по способу А. И. Снитковского. Для этого по данным о вертикальном распределении фактического ветра и температуры воздуха устанавливается максимальная скорость ветра в нижнем двухкилометровом слое атмосферы. Находится толщина слоя, в котором скорость ветра равна и более 15 м/с, а также средний вертикальный градиент температуры между уровнем с максимальной скоростью ветра в области мезоструи и поверхностью земли.

Способ применяется в тех случаях, когда прогнозируемый в пункте градиент давления у поверхности земли $\Delta p_0 / \Delta n \geq 3$ гПа/100 км и в радиусе 500 км $V_{\text{ср.г}} \geq 22$ м/с. [4]

3. Режим ветра на аэродроме Костанай

3.1 Физико-географическое описание района аэродрома Костанай

Город Костанай расположен в северной части Костанайской области, которая занимает почти всю территорию Торгайской столовой (равнины) страны. Поверхность равнинная с незначительным уклоном в сторону реки Тобол, который не нарушает общего характера равнины.

Почвы черноземные и среднегумусные (обыкновенные) черноземы, характеризующиеся зернистой и зернисто - комковой структурой. В пойме реки Тобол - лучшие черноземы и солоды, которые являются местом распространения лесных колков. Встречаются также мелкие суглинки с солонцеватыми комплексами.



Рис. 3.1 – аэродром Костанай

Аэродром Костанай расположен в 2 км на юго-западе от окраины города и в 5.6 км от центра города Костанай.

Аэродром Костанай класса «В».

Поверхность летного поля ровная, грунт супесчаный чернозем, покров травяной. Аэродром окружен лесопосадками и застройками города. С востока на расстоянии 1,5 км от торца взлетной полосы проходит железная дорога. С южной стороны на расстоянии 4 км, с юго-запада на северо-восток протекает река Тобол.

Летное поле имеет форму неправильного многогранника, вытянутого с запада на восток (рис 3.1). Направление ИВПП с северо-запада на юго-восток ($325^{\circ} - 145^{\circ}$), что не совсем вписывается в схему преобладающего направления ветра (юго-западное).

3.2 Общие сведения о климате района аэродрома Костанай

Аэродром Костанай расположен в зоне континентального климата со степенью континентальности-56 % (континентальность климата оценена по индексу Л. Горчинского ($k=50.1-70\%$)) с резкими контрастами температуры зимы и лета, дня и ночи. Зима пасмурная и холодная, с устойчивым снежным покровом, с сильными ветрами, метелями, туманами. Лето умеренно жаркое, но сравнительно короткое. Средняя многолетняя годовая температура воздуха в пределах $3,5^{\circ}\text{C}$. Средняя температура самого холодного месяца (января) составляет -19°C . В отдельные дни в наиболее суровые зимы температура иногда понижается до -43°C . Самым теплым месяцем является июль, средняя температура которого $27,1^{\circ}\text{C}$. В отдельные годы, в особенно жаркие дни, возможно повышение температуры воздуха днем до 41°C .

Таблица 3.1 - Средняя скорость ветра, м/с

Метеоэлемент	Месяцы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Скорость ветра	3,7	3,7	3,4	3,9	3,7	3,3	2,9	2,8	3,1	3,6	3,6	3,6	3,4

Таблица 3.2 -Повторяемость направления ветра и штилей, %

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	12	3	4	9	43	18	6	5	16
II	14	4	4	8	42	18	5	5	14
III	16	6	7	9	33	15	8	6	14
IV	13	9	9	11	26	15	10	7	13
V	18	9	9	8	18	14	13	11	12
VI	21	10	10	8	13	11	13	14	16
VII	24	12	10	7	9	8	13	17	20
VIII	20	9	7	7	14	12	15	16	20
IX	13	6	7	9	22	17	15	11	17
X	10	4	3	8	31	22	14	8	14
XI	10	4	5	10	35	20	10	6	14
XII	12	5	3	9	43	19	5	4	15
Год	15	7	6	9	27	16	11	9	15

Среднее годовое количество осадков составляет от 336 мм. Теплый период (апрель- октябрь) более обеспечен осадками, чем холодный, летом выпадает значительно больше осадков, чем в другие сезоны года. Средняя годовая скорость ветра в пределах от 2,8 до 3,7 м/с. Преобладающее направление ветра за год в районе аэродрома – южное, средняя годовая скорость ветра – 3,4 м/с.[2].

По многолетним данным, в течение года наибольшая повторяемость направления ветра - южное 27 %, штиль в течение года наибольшая повторяемость 20 % в июле и августе, средняя скорость ветра 3,4 м/с.

3.3 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на аэродроме Костанай.

К синоптическим процессам, которые обуславливают сложные метеорологические погодные условия и усиление ветра на аэродроме Костанай можно отнести следующие:

✓ Западное вторжение.

Западное вторжение - характеризуется перемещением полярного или реже арктического воздуха на территорию Казахстана с запада. Характерной чертой западных вторжений является предфронтальный теплый вынос.

Западные вторжения в районе аэродрома Костанай сопровождаются сплошной облачностью, осадками, сильным ветром, а летом похолоданием. В холодную половину года с установлением четко выраженного западного вторжения полярного воздуха, в районе аэродрома наблюдаются значительные оттепели. В холодную половину года они приносят относительно теплые атлантические массы воздуха, вызывающие часто длительные оттепели. Сильные ветры с метелями характерны для передней и тыловой частей циклонов. Для Северо-западной части Европейской территории России характерна неустойчивая погода. Летом над территорией слабо развита циклоническая деятельность, и она выражена в виде малоактивных циклонов и фронтальных волн. Иногда могут возникать опасные сильные шквалы на малоподвижных холодных фронтах. Особую опасность представляют смерчи, прогноз которых еще остается чрезвычайно трудным.

✓ Северо-западное вторжение.

При северо-западном вторжении арктические или воздушные массы умеренных широт, ограничиваемые холодными фронтами, проникают на территорию Казахстана с северо-запада, принося с собой ухудшение погоды.

Северное вторжение на аэродроме Костанай характеризуется проникновением очень холодного воздуха с севера и северо-востока через Урал и Западную Сибирь.

✓ Отрог сибирского максимума.

В холодное время года значительная часть территории Казахстана находится под преимущественным влиянием мощного западного отрога сибирского антициклона. В связи с этим в среднем около 50-60% времени зимой над Казахстаном удерживается антициклональный режим давления и погоды.

Режим зимней погоды около 25% всех случаев обусловлен юго-западной периферией этого антициклона. Встречаются зимы, когда активность отрога сибирского максимума чрезвычайно ослаблена, и, наоборот, в отдельные зимы отрог сибирского антициклона является явно доминирующим процессом и распространяется на запад. В эти зимы фронтальные процессы и циклоническая деятельность над Казахстаном подолгу отсутствуют. Зимой в условиях малооблачной погоды большой интенсивности достигают процессы радиационного выхолаживания, приводящие к продолжительным и глубоким температурным инверсиям. В этот период на аэродроме Костанай наиболее часто образуются туманы. Радиационное выхолаживание в условиях антициклонального режима приводит к существенному понижению температуры приземного слоя воздуха, что вызывает формирование поземных и высоких туманов. При разрушениях же отрога повышенного давления в результате распространения более теплых и влажных масс воздуха на выхолаженную поверхность возникают адвективные туманы.

✓ Выход Южно-каспийского циклона

Циклон появляется на юге Каспийского моря или несколько восточнее и в течении 1,5-2 суток, в отдельных случаях 3-5 суток смещается через территорию Казахстана с юго-запада на север или северо-восток в виде хорошо оформленной барической системы. Как правило в летний период с

прохождением южно-каспийского циклона вызван вынос теплого воздуха, при этом в большинстве случаев осадки на теплом фронте не выпадают из-за сухости выносимого тропического воздуха. Наблюдаются фёны. При прохождении южно-каспийского циклона на аэродроме Костанай отмечаются пыльные бури, сильный ветер на холодном фронте, часто до штормовых значений. В отдельных случаях сильный ветер отмечается и на тёплом фронте. Колебания температуры могут быть очень значительными. Осенью и весной наблюдаются сильные осадки и грозы весьма часто. Первые весенние грозы обусловлены Южно-каспийскими или Мургабскими циклонами. Эти циклоны наблюдаются в основном в холодный период года (с октября по май). Они могут возникать у основания высотной ложбины, под ее передней частью, где отмечаются большие горизонтальные градиенты температуры. Это хорошо прослеживается на карте ОТ 500/1000. Выход южных циклонов сопровождается увеличением барических градиентов в сопряженной зоне с антициклоном, расположенным над центральными районами Европейской территории России. В зимнее полугодье зоны метелей, распространяются в северные широты вдоль траектории. В летнее время возникают шквалы на холодных фронтах и фронтах окклюзии.

Выход Южно-каспийского циклона на аэродроме Костанай в зимний период характеризуется резким потеплением, обильными снегопадами и метелями. Сильные ветры, связанные с прорывами южных циклонов, вызывают большие заносы снега на железных и шоссейных дорогах, нарушая на длительное время нормальную работу транспорта. Резкое повышение температуры воздуха вызывает формирование гололедных явлений. В тыловой части циклона происходит вторжение холодных масс воздуха, сопровождающиеся резким понижением температуры. На холодном фронте образуется низкая облачность, начинают выпадать осадки. Высота нижней границы облаков может опускаться до 300м и меньше.

✓ Ныряющие циклоны. Сопровождаются обвалом холода в их тылу, прорывом холодных масс воздуха далеко на юг, вплоть до субтропических районов страны. Всю зону смещения циклона охватывают сильные ветры. В тылу циклона скорость ветра может достигать особо опасных значений, которые чаще наблюдаются в северных районах Европейской части России[8].

Примеры синоптических ситуаций с усилением ветра на аэродроме Костанай представлены в Приложении Б.

3.3.1 Синоптические ситуации при усилении ветра

У земной поверхности чаще всего встречаются ветры, усиливающиеся до 12-15 м/с. Но все же скорость ветра может превышать 30 м/с в штормах и ураганах, а в отдельных порывах достигать 60 м/с. И в прогнозе скорости ветра в первую очередь предусматривают усиления ветра от 15-29 м/с и более 30 м/с. Усиления ветра могут наблюдаться:

- в углубляющемся циклоне, где градиент давления достигает 6 гПа/100 км и более, особенно в его тыловой части;
- в смежной зоне активного развития циклона и антициклона;
- на периферии антициклона в области роста давления, в пределах которого градиент давления достигает 3 гПа/100 км и более;
- в зонах атмосферных фронтов, где градиент давления более 3 гПа/100 км.

Также всегда учитываются местные условия.

Следует отметить, что при слабых, вялоразвитых циклонах, на аэродроме Костанай нередко возникают туманы.[6]

3.4 Характеристика данных и результаты обработки информации

Исходными данными послужили ежечасные наблюдения на аэродроме Костанай за 2014-2020 годы. Выборка материалов сформирована в таблицы, графики и рисунки с помощью автоматизированной информационной системы «Климат аэродрома». Формировался архив в электронной форме, который был импортирован в программу для обработки. Всего обработано 122640 сроков.

Измерение параметров выполняется при помощи метеорологических датчиков, расположенных вдоль ВПП.[7]

Повторяемость отдельных градаций ветра по скорости и направлению представлены в таблицах 3-15.

Из таблиц видно, в районе Костанайского аэропорта господствуют ветры от слабых до умеренных. Наиболее часто наблюдается ветер от 3 м/с до 5 м/с повторяемость 44,9 %, максимум приходится на август- 50,1 % и сентябрь 49,4%. Так же отмечаются ветры от 6 до 7 м/с, повторяемость 18,0%, максимум приходится на апрель - 22,0%, март - 21,9% и ноябрь - 21,4%.

Сильные ветры со скоростью 13-15 м/с наблюдаются чаще всего в мае и составляют 5,8% . Ветер со скоростью 16-18 м/с наблюдается в марте, повторяемость 1,6%. Ветер 20 м/с и более приходится на апрель - 0,1%.

Штиль можно рассматривать как очень слабый ветер, скорость которого не превышает 0,5 м/с. Максимум приходится на декабрь, повторяемость 3,4%, а минимум приходится на апрель и повторяемость 0,6% .

Годовая повторяемость ветра различных направлений представлена в таблице 16 и розы ветров рис.13.

Построены диаграммы, представляющие собой распределение повторяемости направлений ветра, в виде так называемой розы ветров по месяцам (рис.1-12).

Преобладающим направлением ветра является 170 - 190гр - 13,8% и 200-220гр -10,8%. Ветра северо-восточного, восточного, юго-восточного

направления бывают редко, направление ветра 80-100 гр имеет наименьшую повторяемость - 3,9%, 50 - 70 гр составляет повторяемость - 4,0%.

В годовом ходе в районе аэродрома Костанай с января по май преобладают ветра южного, юго-западного направления, а с июня по август преобладают ветра северо-западного, северного и северо-восточного направления.

Анализируя данные максимальной повторяемости скорости ветра в зависимости от направлений следует отметить, что с сентября по май преобладающими ветрами со скоростью 35 м/с являются южные и юго-западные. В летний период (июнь-август) преобладают ветры северо-западных и северо-восточных направлений.

Наибольшая повторяемость для скорости ветра 6-7 м/с в январе и феврале приходится на ветры южных направлений; в марте, октябре-декабре юго-западных. В летние месяцы преобладают северные и северо-западные направления.

Максимальная повторяемость ветра со скоростью 13-15 м/с с декабря по март отмечается юго-западных направлений, в остальные месяцы в основном северо-западные ветры.

Отдельные случаи ветра более 16 м/с, наблюдаются в январе - юго-западных направлений, в апреле - северо-восточных, а в мае - северо-западных и западных, в июне - восточных, в июле, октябре - северо-западных направлений.

В годовом ходе среднее число дней со скоростями ветра >15 м/с составляет - 22.9 и >20 м/с - 1 день. [5]

Таблицы и рисунки - розы ветров представлены в Приложении А.

3.5. Прогноз ветра на аэродроме Костанай.

Для прогноза скорости ветра на аэродроме Костанай используют синоптический способ прогноза, с использованием градиентной линейки и использованием формулы

$$V = kV_g \quad (3.1)$$

V_g - скорость геострофического ветра

Коэффициент k зависит от стратификации воздушной массы, суточного хода температуры, сезона и времени суток и т.д.

Для его определения используется региональный график, составленный и проверенный по результатам многолетних наблюдений за ветром на аэродроме Костанай.

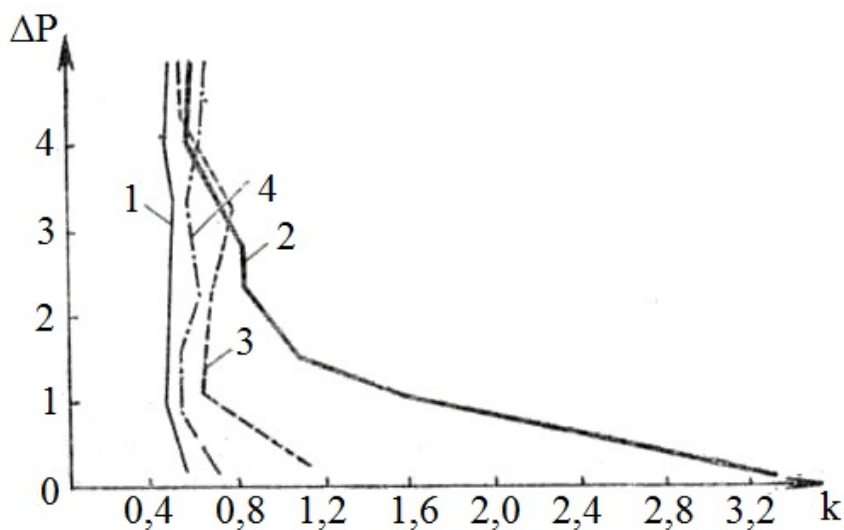


Рис.3.2 – График для определения k

где: 1- лето, ночь, 2 – лето, день, 3 – зима, день, 4- зима, ночь.

ΔP – горизонтальный градиент атмосферного давления, мбар/ 1° меридиана.

Для определения скорости ветра используют график, предложенный А.С. Зверевым для степных и полупустынных районов СССР. [1]

Графиком пользуются в зависимости от времени года и времени суток

Следует заметить, что этот метод имеет хорошую оправдываемость для района аэродрома Костанай. Оправдываемость ветров при скоростях $V_{cp} \geq 10$ м/с составляет 84 %.

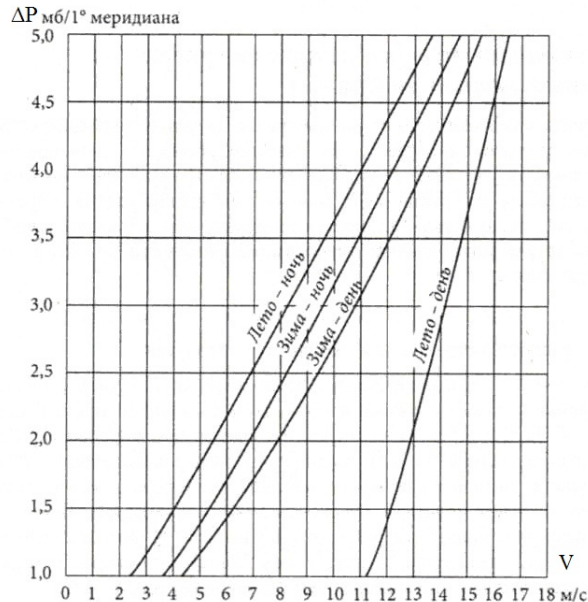


Рис.3.3 –График зависимости скорости ветра от горизонтального градиента атмосферного давления.

Всего было составлено 92 прогноза для ветра 10 м/с и более. Оправдываемость рассчитывалась по формуле из инструкции по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме Костанай [4].

$$U = \frac{n_{11}}{N_{01}} 100\% \quad (3.2)$$

Где: U – оправдываемость прогнозов;

n_{11} - число оправдавшихся прогнозов скорости ветра;

N_{01} – число составленных прогнозов скорости ветра.

Заключение

В зависимости от преобладающей атмосферной циркуляции наибольшая повторяемость ветра приходится на юго-западное направление: 170 - 190 градусов - 13,8% и 200-220 градусов - 10,8%. Ветра северо-восточного, восточного, юго - восточного направления бывают редко, наименьшая повторяемость ветра приходится на направление 80-100 градусов составляет 3,9%, направление 50 - 70 градусов повторяемость - 4,0%.

С января по май в районе аэродрома Костанай преобладают ветра южного, югозападного направления, а с июня по август ветра северо-западного, северного и северо-восточного направления со скоростью ветра от 3 м/с до 5 м/с, повторяемость 44,9 %, максимум приходится на август - 50,1 % и сентябрь 49,4%. Так же отмечаются ветра от 6 до 7 м/с, повторяемость 18,0%, максимум приходится на апрель - 22,0%, март - 21,9% и ноябрь - 21,4%.

В годовом ходе усиление ветра наблюдается в весенние и осенние месяцы и ослабление до штилевых значений в зимний месяцы. Сильные ветры со скоростью 13-15 м/с наблюдаются чаще всего в мае и составляют 5,8% . Ветер со скоростью 16-18 м/с наблюдается в марте, повторяемость 1,6%. Ветер 20 м/с и более приходится на апрель месяц - 0,1%.

Штиль можно рассматривать как очень слабый ветер, скорость которого не превышает 0,5 /мс.

Существует связь между скоростью ветра и дальностью горизонтальной видимости, поэтому целесообразно рассмотреть повторяемость метелей и пыльных бурь при различных скоростях ветра.

Для прогноза скорости ветра >10 м/с на аэродроме Костанай используют метод А. С. Зверева для степных и полупустынных районов. Метод показал высокую оправдываемость.

Список использованных источников:

- 1) Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. – Спб.:БХВ-Петербург, 2010 г. -288с
- 2) Синоптическая и авиационная метеорология, часть II. – М. Военное издательство, 1985.-265 с.
- 3) Синоптическая и авиационная метеорология, часть I. – М. Военное издательство, 1985.-395 с
- 4) Хандожко Л.А. Региональные прогнозы погоды. – Л.: изд. ЛГМИ, 1989.-137 с.
- 5) Инструкция по составлению климатического описания аэродрома. - Астана, 2017.
- 6) Утешев А.С. Климат Казахстана. - Л.; Гидрометиздат, 1959.
- 7) Инструкция по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме Костанай. 2020 г.
- 8) Архивные данные АМСГ Костанай за 2014-2020 гг.

Приложение А

Таблица 3.3 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в январе.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,7	
слабый, перемен.												0,3	
350-10	1,7	3,0	0,7	0,8	0,4	0,2	0,1					6,9	5,1
20-40	1,3	3,0	0,5	0,3	0,1	0						5,2	4,2
50-70	0,6	1,7	0,8	0,4	0,1	0						3,6	4,9
80-100	1,0	2,5	0,8	0,4	0,1	0						4,8	4,6
110-130	1,6	2,9	0,8	0,5	0,1	0,3	0					6,2	4,8
140-160	4,4	6,6	0,8	0,9	0,2	0,5	0,1					13,5	4,1
170-190	3,1	10,9	4,2	1,7	0,7	0,7	0,1					21,3	5,1
200-220	1,7	5,3	3,2	1,7	0,9	0,7	0,1					13,5	6,0
230-250	0,9	3,8	1,6	1,0	0,4	0,1						7,8	5,4
260-280	0,6	2,0	2,2	0,4								5,1	5,0
290-310	0,8	1,9	0,5	0,4	0,1	0						3,6	4,5
320-340	1,4	2,4	1,0	1,0	0,2	0,1	0	0,1				6,2	5,1
всего	19,0	46,0	16,9	9,3	3,4	2,7	0,4	0,1				100,0	4,9

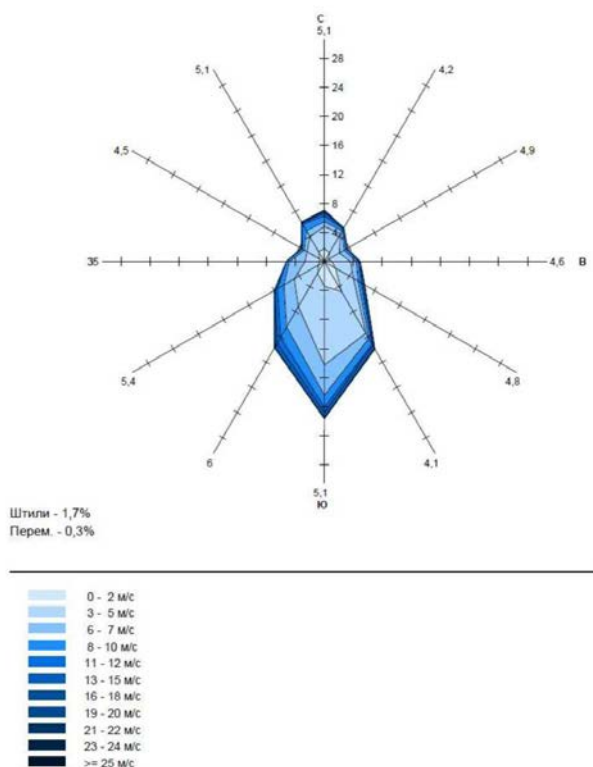


Рис. 1 – Роза ветров, январь

Таблица 3.4 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в феврале.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												2,3	
слабый, перемен.												0,7	
350-10	1,7	4,5	0,9	0,9	0,3	0,2						8,4	4,6
20-40	1,1	3,6	1,1	0,4	0,2	0,1						6,4	4,5
50-70	0,6	1,9	0,5	0,2								3,1	4,2
80-100	0,8	1,5	0,2	0,1	0							2,7	3,6
110-130	1,0	1,8	0,4	0,2	0							3,5	4,0
140-160	3,7	7,2	1,4	1,3	0,3	0,2						13,9	4,2
170-190	3,9	9,8	5,1	2,3	0,7	0,5	0,4	0				22,8	5,3
200-220	2,7	3,8	1,5	1,3	0,4	0,7	0,2					10,5	5,5
230-250	2,0	2,8	1,3	0,7	0,2	0,2						7,3	4,8
260-280	1,0	1,8	1,5	0,5		0,1						4,9	5,1
290-310	1,1	1,8	1,6	0,5	0,3	0,1						5,4	5,3
320-340	1,9	3,4	1,4	1,0	0,2	0,2	0,1					8,1	4,9
всего	21,5	43,7	16,9	9,5	2,6	2,2	0,7	0				100,0	4,7

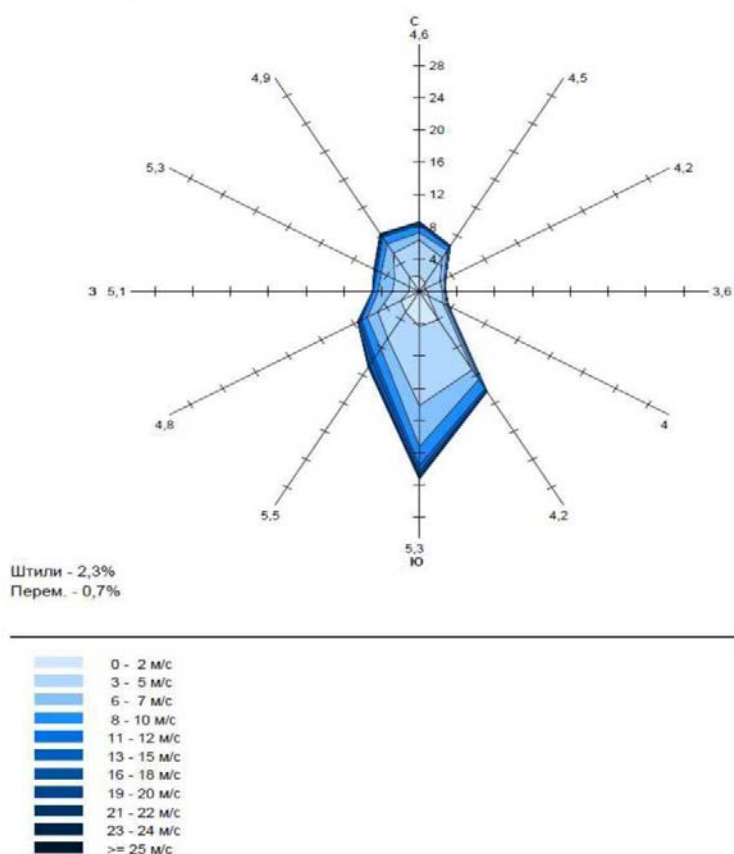


Рис. 2 – Роза ветров, февраль

Таблица 3.5 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в марте.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,4	
слабый, перемен.												0,3	
350-10	1,5	3,5	1,8	0,8	0,4	0						8,0	4,9
20-40	0,7	3,1	1,4	0,4	0,2	0						5,7	4,9
50-70	0,5	1,6	0,8	0,7	0,3	0,2						4,0	6,1
80-100	0,6	2,2	0,9	0,3	0,1	0						4,1	4,7
110-130	1,0	2,6	1,0	0,4	0,1	0,2						5,4	4,9
140-160	2,5	4,7	1,5	1,4	0,3	0,3	0,1					10,7	4,8
170-190	1,9	8,3	4,5	2,4	0,7	0,9	0,3	0,1	0			19,1	6,0
200-220	0,7	3,8	2,6	2,0	0,8	0,9	0,8	0,3	0			12,1	7,8
230-250	0,7	2,6	2,8	2,9	0,8	0,5	0,2	0				10,6	7,3
260-280	0,5	2,0	2,2	1,2	0,3	0,2	0,2	0,1				6,5	6,5
290-310	0,6	2,1	1,0	1,0	0,2	0,2						5,1	5,8
320-340	0,5	3,5	1,4	1,0	0,4	0,2	0					7,0	5,7
всего	11,8	39,9	21,9	14,5	4,5	3,6	1,6	0,5	0			100,0	5,9

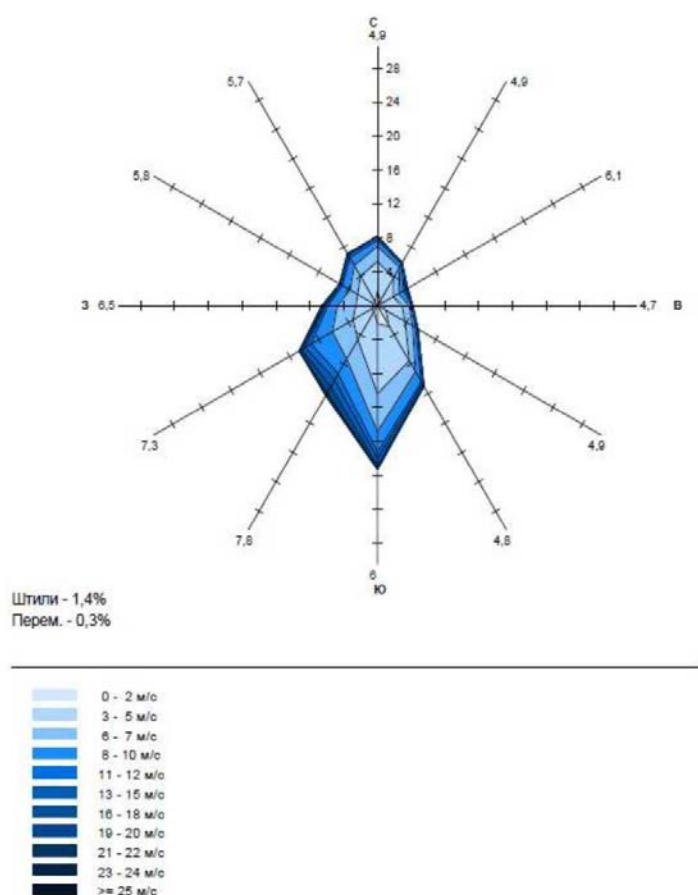


Рис. 3 – Роза ветров, март

Таблица 3.6 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в апреле.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												0,6	
слабый, перемен.												0,1	
350-10	0,6	2,9	1,8	1,2	0,6	0,3						7,4	6,3
20-40	0,5	1,8	0,9	0,6	0,3	0,3	0,1					4,5	6,2
50-70	0,3	1,1	0,4	0,4	0,1							2,3	5,3
80-100	0,2	1,2	0,2	0,2	0	0,1						1,9	4,8
110-130	0,8	2,8	1,4	0,7	0,4	0,1						6,2	5,4
140-160	1,5	6,6	1,3	0,6	0,3	0						10,3	4,4
170-190	1,3	8,0	3,7	1,8	0,6	0,4	0					15,7	5,5
200-220	0,7	6,1	2,5	2,2	0,9	0,8	0,2					13,3	6,5
230-250	0,5	5,3	3,9	2,4	1,2	0,9	0,3	0				14,7	7,0
260-280	0,4	4,0	2,4	1,4	0,3	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	9,8	7,1
290-310	0,8	2,4	1,6	1,1	0,5	0,4	0,1		0	0		7,0	6,6
320-340	0,9	2,3	1,8	0,8	0,3	0,1	0					6,2	5,6
всего	8,7	44,4	22,0	13,3	5,5	3,9	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	100,0	6,0

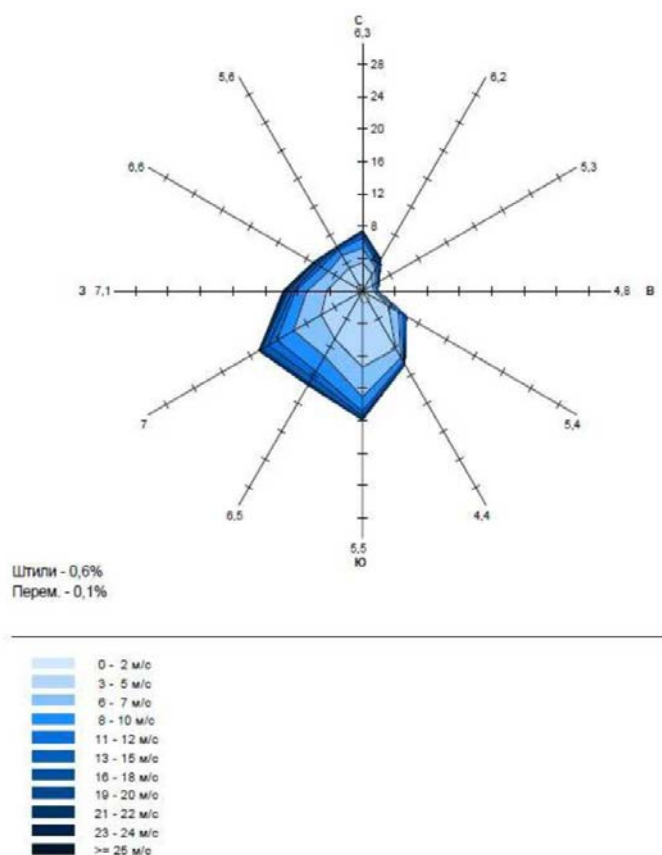


Рис. 4 – Роза ветров, апрель

Таблица 3.7 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в мае.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												0,9	
слабый, перемен.												0,1	
350-10	0,9	3,2	2,7	1,8	1,0	0,9	0					10,6	6,8
20-40	1,1	4,2	2,3	1,7	1,3	0,9	0,1					11,6	6,7
50-70	0,6	2,1	1,0	1,0	0,2	0,1						5,0	5,8
80-100	1,1	2,4	0,7	0,5	0,1	0,1						4,9	4,5
110-130	0,7	1,7	0,7	0,6	0,3	0,2						4,2	5,7
140-160	0,9	2,5	0,9	0,6	0,2	0,1	0					5,3	5,0
170-190	1,3	3,6	1,4	0,9	0,4	0,4	0,1					8,1	5,5
200-220	1,0	3,8	1,4	1,2	0,8	0,6	0,3	0,1				9,0	6,6
230-250	0,6	3,9	2,0	1,8	0,9	0,7	0,2	0,1	0			10,2	7,0
260-280	0,6	3,8	2,6	2,0	0,7	0,6	0,1	0				10,4	6,7
290-310	0,8	4,1	1,8	1,4	0,8	0,6	0,3					9,7	6,6
320-340	0,7	4,1	1,7	1,5	0,8	0,8	0,3					9,9	6,7
всего	10,2	39,6	19,2	15,1	7,5	5,8	1,3	0,2	0			100,0	6,3

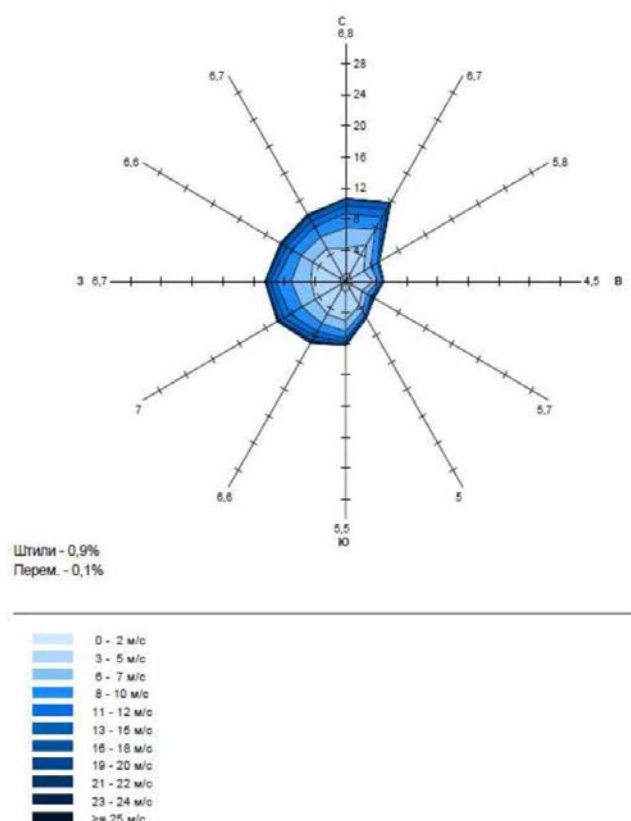


Рис. 5 – Роза ветров, май.

Таблица 3.8 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в июне.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,3	
слабый, перемен.												0,3	
350-10	1,6	5,7	2,4	1,4	0,4	0,2						11,7	5,2
20-40	1,3	3,3	1,2	0,9	0,2	0						7,0	4,8
50-70	0,8	2,3	0,8	0,6	0,3	0,3						4,9	5,5
80-100	1,1	3,3	0,8	0,3	0,1	0,1						5,6	4,3
110-130	1,2	2,1	0,6	0,3	0,1							4,4	4,2
140-160	1,9	3,2	0,5	0,3	0		0,1	0				5,9	3,8
170-190	1,3	3,7	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1					6,2	4,3
200-220	0,9	3,5	1,0	0,9	0,7	0,5	0,1					7,6	6,1
230-250	0,9	3,3	1,5	1,4	0,7	0,7	0,1					8,5	6,5
260-280	0,9	5,2	2,6	1,7	0,8	0,3	0,2	0,1				11,8	6,2
290-310	1,1	5,8	2,3	1,7	1,0	0,7	0,2					12,9	6,2
320-340	1,2	6,0	2,2	1,3	0,7	0,4	0,1					11,9	5,6
всего	14,3	47,4	16,4	11,0	5,3	3,3	0,7	0,1				100,0	5,3

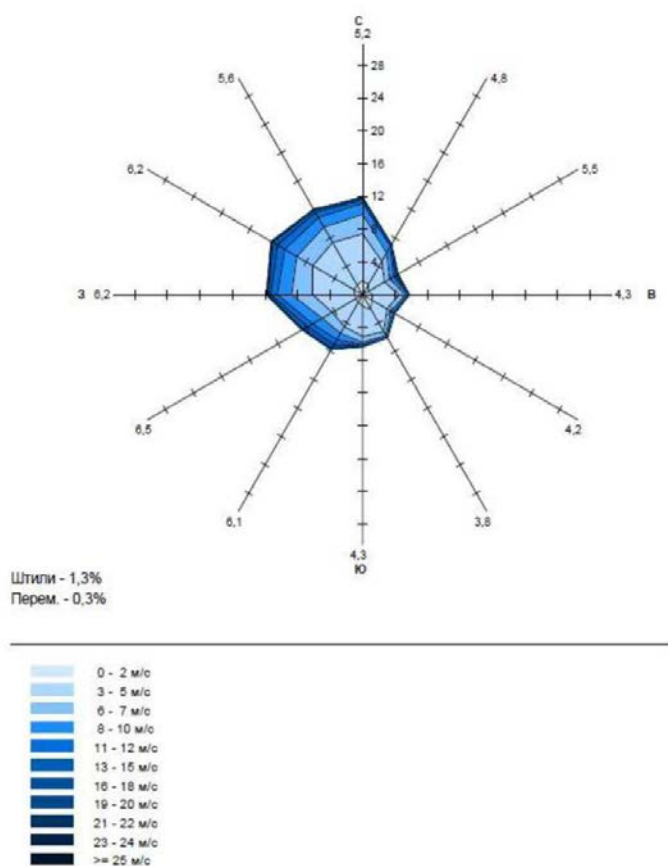


Рис. 6 – Роза ветров, июнь.

Таблица 3.9 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в июне.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,3	
слабый, перемен.												0,3	
350-10												1,4	
20-40												0,3	
50-70	2,4	7,0	3,2	1,9	0,9	0,3	0					15,7	5,3
80-100	1,5	5,3	1,7	1,7	0,7	0,4	0,3					11,4	5,8
110-130	0,6	2,4	0,7	0,5	0,1	0						4,3	4,9
140-160	0,9	2,9	0,5	0,2	0,1	0,2						4,8	4,5
170-190	0,7	1,9	0,5	0,1	0	0	0					3,3	4,2
200-220	1,0	2,4	0,2	0,1	0,1	0,1						3,9	3,8
230-250	0,9	2,6	0,5	0,1	0,1	0	0,1					4,3	4,2
260-280	0,7	1,9	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1		0			3,7	5,1
290-310	0,7	2,5	0,9	1,0	0,4	0,5	0,1					6,2	6,4
320-340	1,5	8,9	3,1	2,5				1,2	0,8	0,2		18,2	5,9
всего	13,0	47,8	16,1	11,7	5,2	3,6	0,9	0	0			100,0	5,4

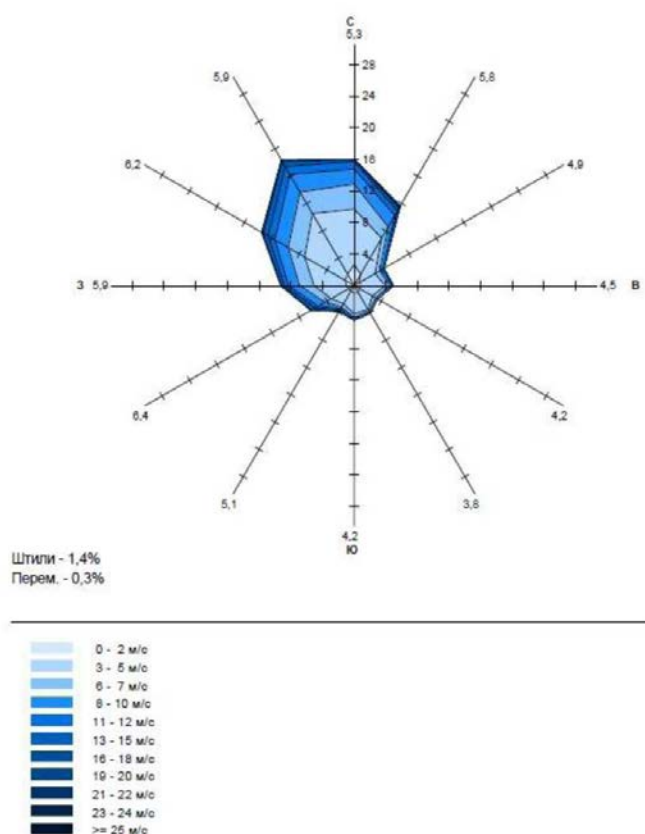


Рис. 7 – Роза ветров, июль.

Таблица 3.10 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в августе.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,8	
слабый, перемен.												0,7	
350-10	2,2	6,9	2,1	1,4	0,6	0,2						13,5	4,9
20-40	1,8	5,1	1,3	1,3	0,3	0,1						9,9	4,8
50-70	1,5	3,1	1,2	0,6	0,1	0						6,5	4,4
80-100	1,5	2,5	0,5	0,1	0,1							4,6	3,6
110-130	1,4	2,3	0,3	0,1	0							4,2	3,4
140-160	1,9	3,8	0,7	0,3	0,2	0,1						6,9	3,9
170-190	1,6	4,0	0,6	0,5	0,2	0,2						7,1	4,3
200-220	1,5	2,7	1,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0				6,1	4,8
230-250	1,1	3,1	1,1	0,8	0,2	0,1	0					6,4	5,1
260-280	1,1	4,6	1,2	0,8	0,3	0,2	0					8,2	5,2
290-310	1,0	4,7	1,4	1,3	0,7	0,4	0					9,4	5,7
320-340	1,6	7,4	3,1	1,7	0,8	0,3						14,7	5,4
всего	18,1	50,1	14,4	9,6	3,5	1,6	0,2	0				100,0	4,7

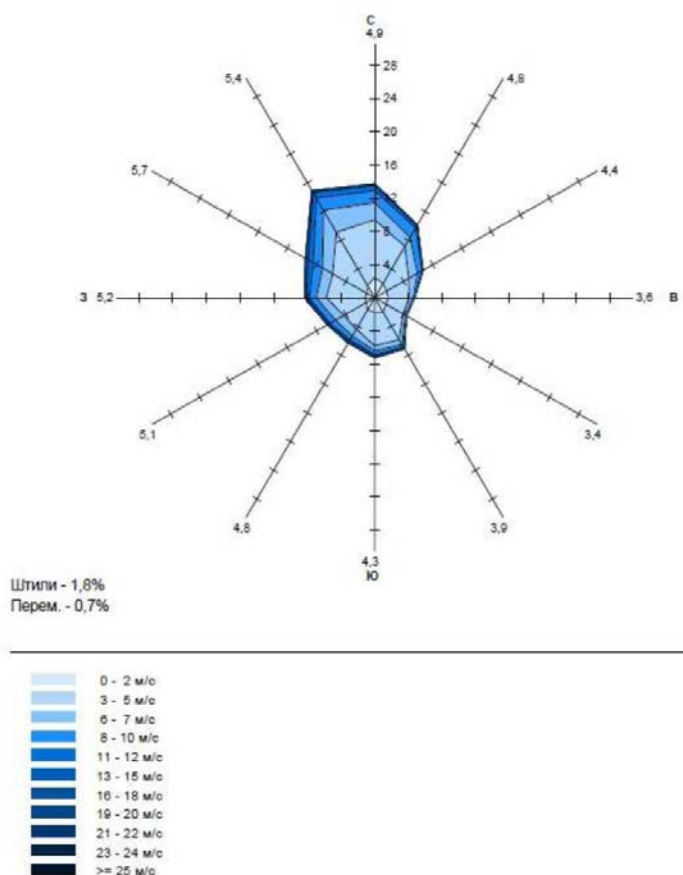


Рис. 8 – Роза ветров, август.

Таблица 3.11 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в сентябре.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,7	
слабый, перемен.												0,2	
350-10	1,8	3,5	1,2	0,7	0,5	0,3						7,9	5,0
20-40	1,7	3,9	1,1	0,6	0,3	0,2						7,8	4,6
50-70	1,4	2,2	0,6	0,3	0,1	0,1						4,8	4,2
80-100	1,5	2,2	0,5	0,2	0,1	0						4,5	3,7
110-130	1,4	2,7	0,7	0,3	0,1							5,1	3,9
140-160	2,0	4,6	0,6	0,3	0,1	0						7,7	3,8
170-190	2,1	5,8	1,1	0,8	0,4	0,1						10,3	4,4
200-220	1,2	4,6	1,4	1,1	0,7	0,2	0,2					9,4	5,6
230-250	1,3	5,7	2,1	1,3	0,4	0,3		0				11,0	5,3
260-280	1,3	5,3	2,1	1,2	0,3	0,2	0					10,3	5,2
290-310	1,3	4,4	2,1	1,2	0,7	0,2	0,1					10,1	5,6
320-340	1,4	4,5	1,6	1,1	0,4	0,1						9,1	5,1
всего	18,5	49,4	15,1	9,1	4,0	1,6	0,3	0				100,0	4,7

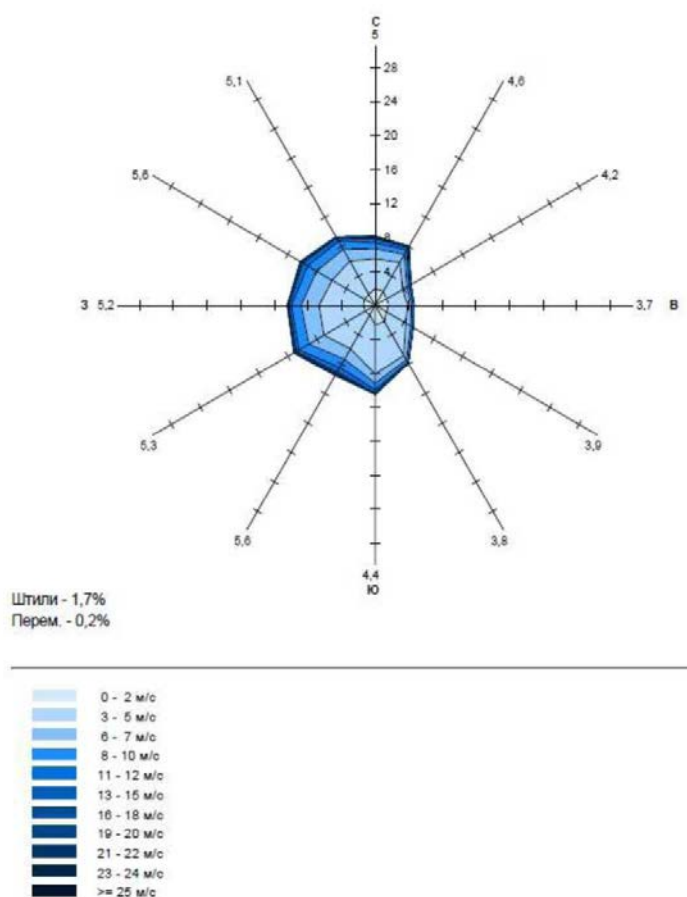


Рис. 9 – Роза ветров, сентябрь.

Таблица 3.12 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в октябре.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,0	
слабый, перемен.												0,2	
350-10	0,8	2,8	1,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1				5,9	5,9
20-40	0,9	1,8	0,5	0,4	0,1	0,1	0	0				3,8	4,8
50-70	0,7	1,4	0,3	0,1	0,1							2,5	4,0
80-100	0,7	1,8	0,7	0,2	0,1							3,5	4,4
110-130	0,7	2,0	0,4	0,5	0,1	0						3,8	4,6
140-160	1,9	4,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0					7,3	4,2
170-190	1,6	7,4	3,1	1,3	0,3	0,1						13,9	5,0
200-220	0,9	5,5	3,4	2,7	1,4	0,6	0,1					14,6	6,5
230-250	1,0	6,8	3,0	2,1	1,1	1,0	0,2	0				15,1	6,4
260-280	0,6	5,2	2,3	1,5	0,5	0,4	0,1	0				10,5	6,0
290-310	0,8	5,1	2,0	1,2	0,7	0,3	0,3	0				10,4	6,1
320-340	0,6	3,9	1,2	0,8	0,4	0,4	0,1					7,5	5,9
всего	11,1	48,0	18,7	11,4	5,1	3,3	1,1	0,2				100,0	5,6

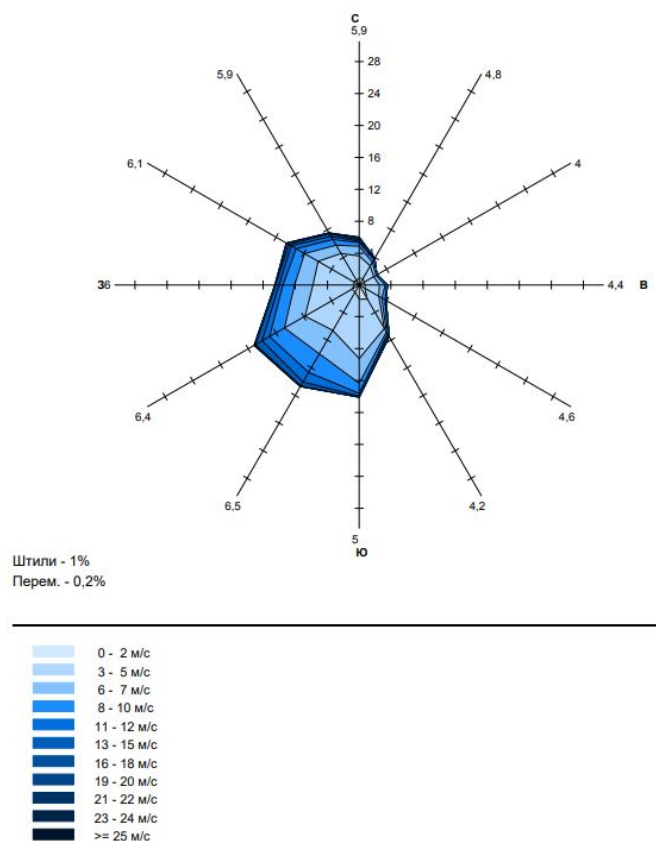


Рис. 10 – Роза ветров, октябрь

Таблица 3.13 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в ноябре.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												1,0	
слабый, перемен.												0,2	
350-10	0,8	2,8	1,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1				5,9	5,9
20-40	0,9	1,8	0,5	0,4	0,1	0,1	0	0				3,8	4,8
50-70	0,7	1,4	0,3	0,1	0,1							2,5	4,0
80-100	0,7	1,8	0,7	0,2	0,1							3,5	4,4
110-130	0,7	2,0	0,4	0,5	0,1	0						3,8	4,6
140-160	1,9	4,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0					7,3	4,2
170-190	1,6	7,4	3,1	1,3	0,3	0,1						13,9	5,0
200-220	0,9	5,5	3,4	2,7	1,4	0,6	0,1					14,6	6,5
230-250	1,0	6,8	3,0	2,1	1,1	1,0	0,2	0				15,1	6,4
260-280	0,6	5,2	2,3	1,5	0,5	0,4	0,1	0				10,5	6,0
290-310	0,8	5,1	2,0	1,2	0,7	0,3	0,3	0				10,4	6,1
320-340	0,6	3,9	1,2	0,8	0,4	0,4	0,1					7,5	5,9

всего	11,1	48,0	18,7	11,4	5,1	3,3	1,1	0,2				100,0	5,6
-------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	--	--	--	-------	-----

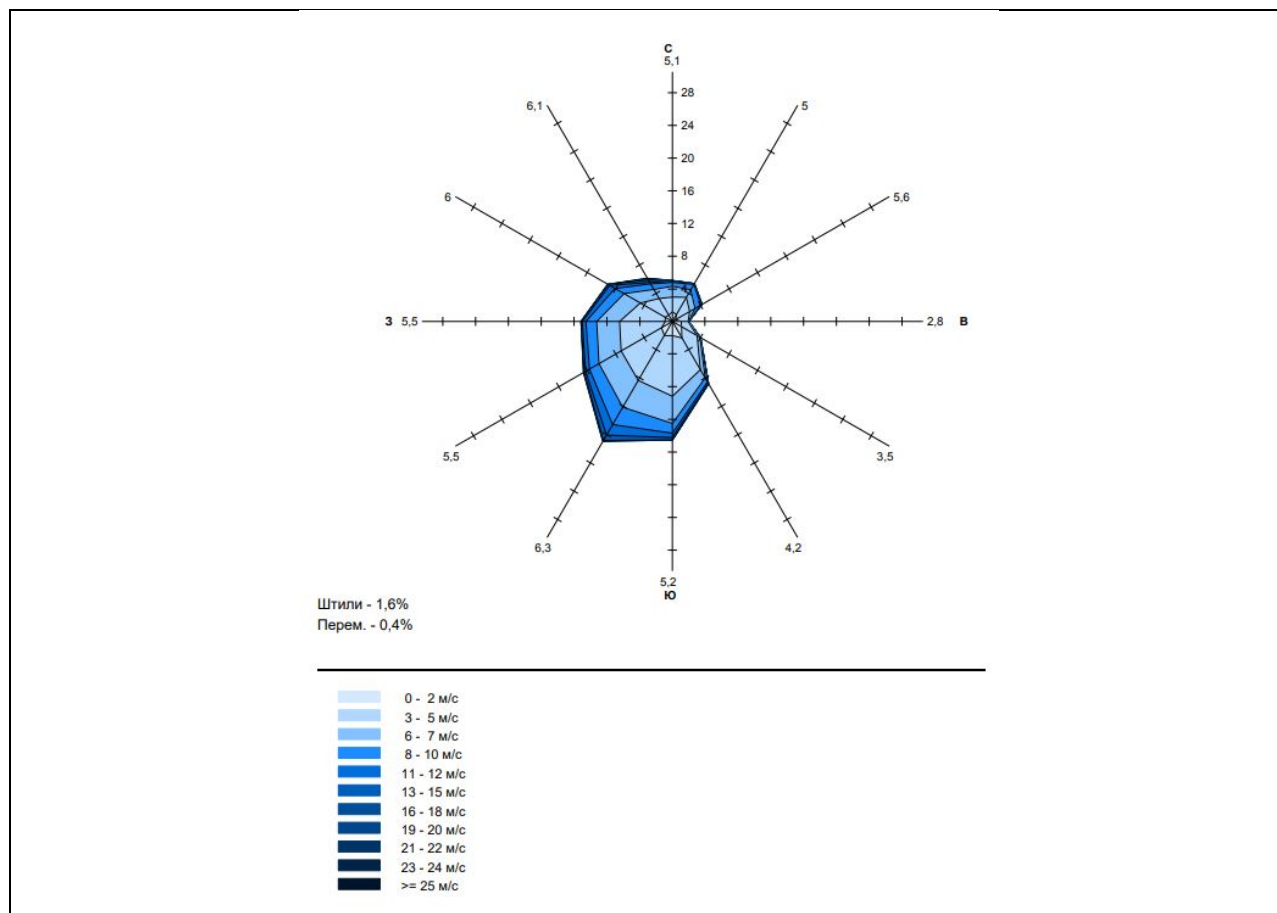


Рис. 11 – Роза ветров, ноябрь

Таблица 3.14 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) в декабре.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
штиль												3,4	
слабый, перемен.												1,0	
350-10	2,1	3,4	1,0	0,8	0,3	0,2						7,8	4,6
20-40	1,3	1,7	0,6	0,4	0,2	0						4,2	4,4
50-70	0,9	0,8	0,2	0,1								2,0	3,3
80-100	0,7	1,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0					2,9	4,1
110-130	1,6	1,3	0,8	0,3	0,1							4,0	3,9
140-160	4,1	4,7	1,9	0,9	0,2	0	0					11,9	4,0
170-190	4,7	9,0	5,3	2,9	1,5	1,0	0,2					24,6	5,6
200-220	2,1	5,2	3,7	2,2	0,9	0,8	0,1					14,8	6,1
230-250	1,4	3,4	1,5	1,0	0,4	0,3	0					8,1	5,4
260-280	1,3	1,4	1,0	0,4	0,2							4,1	4,6
290-310	0,9	1,9	1,1	0,5	0,1	0,1						4,7	5,1

320-340	1,6	3,3	0,8	0,2	0,2	0,2	0,1					6,4	4,5
Всего	22,6	37,9	18,0	9,6	4,0	2,9	0,5					100,0	4,8

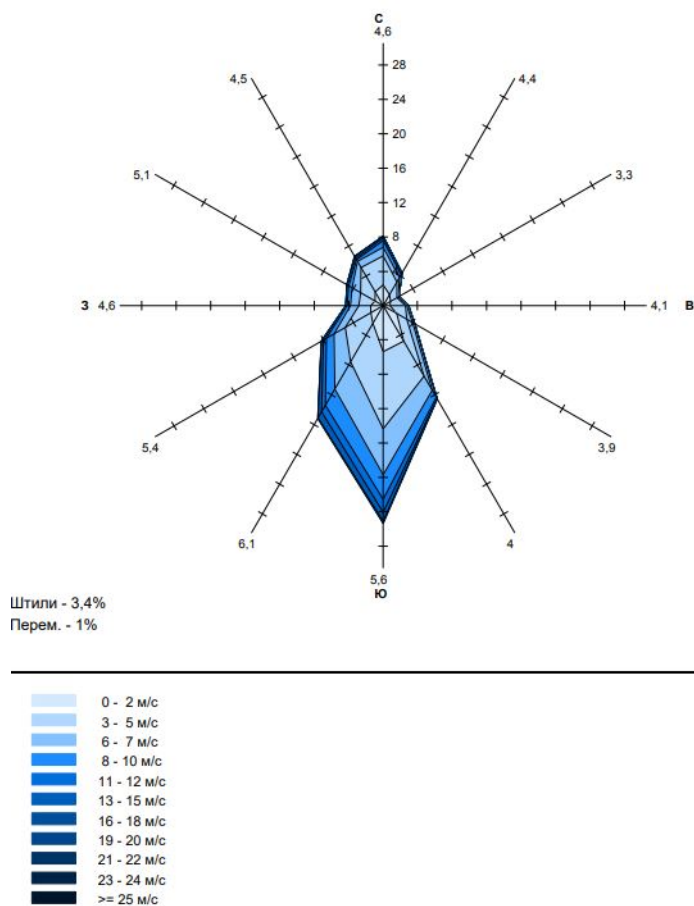


Рис. 12 – Роза ветров, декабрь

Таблица 3.15 – Повторяемость, %, значений направления и скорости ветра (м/с) за год.

направление ветра, °	скорость ветра, м/с											итого	средняя скорость
	1-2	3-5	6-7	8-10	11-12	13-15	16-18	19-20	21-22	23-24	>25		
Штиль												1,6	
слабый, перемен,												0,4	
350-10	1,5	4,1	1,7	1,1	0,5	0,3	0	0				9,2	5,3
20-40	1,2	3,3	1,1	0,8	0,3	0,2	0	0				7,0	5,2
50-70	0,7	1,9	0,7	0,5	0,1	0,1						4,0	4,9
80-100	0,9	2,1	0,5	0,2	0,1	0	0					3,9	4,2
110-130	1,1	2,2	0,7	0,3	0,1	0,1	0					4,5	4,4
140-160	2,3	4,5	0,9	0,6	0,2	0,1	0	0				8,7	4,2
170-190	2,1	6,6	2,8	1,3	0,5	0,4	0,1	0	0			13,8	5,2
200-220	1,3	4,3	2,1	1,5	0,8	0,6	0,2	0	0			10,8	6,2
230-250	1,0	4,1	2,0	1,5	0,6	0,5	0,1	0	0			9,8	6,1

260-280	0,8	3,7	2,0	1,2	0,4	0,3	0,1	0	0	0	0	8,5	5,9
290-310	0,9	3,7	1,7	1,1	0,6	0,3	0,1	0	0	0		8,5	5,9
320-340	1,2	4,4	1,7	1,2	0,5	0,3	0,1	0				9,4	5,6
всего	15,2	44,9	18,0	11,3	4,6	3,1	0,8	0,1	0	0	0	100,0	5,3

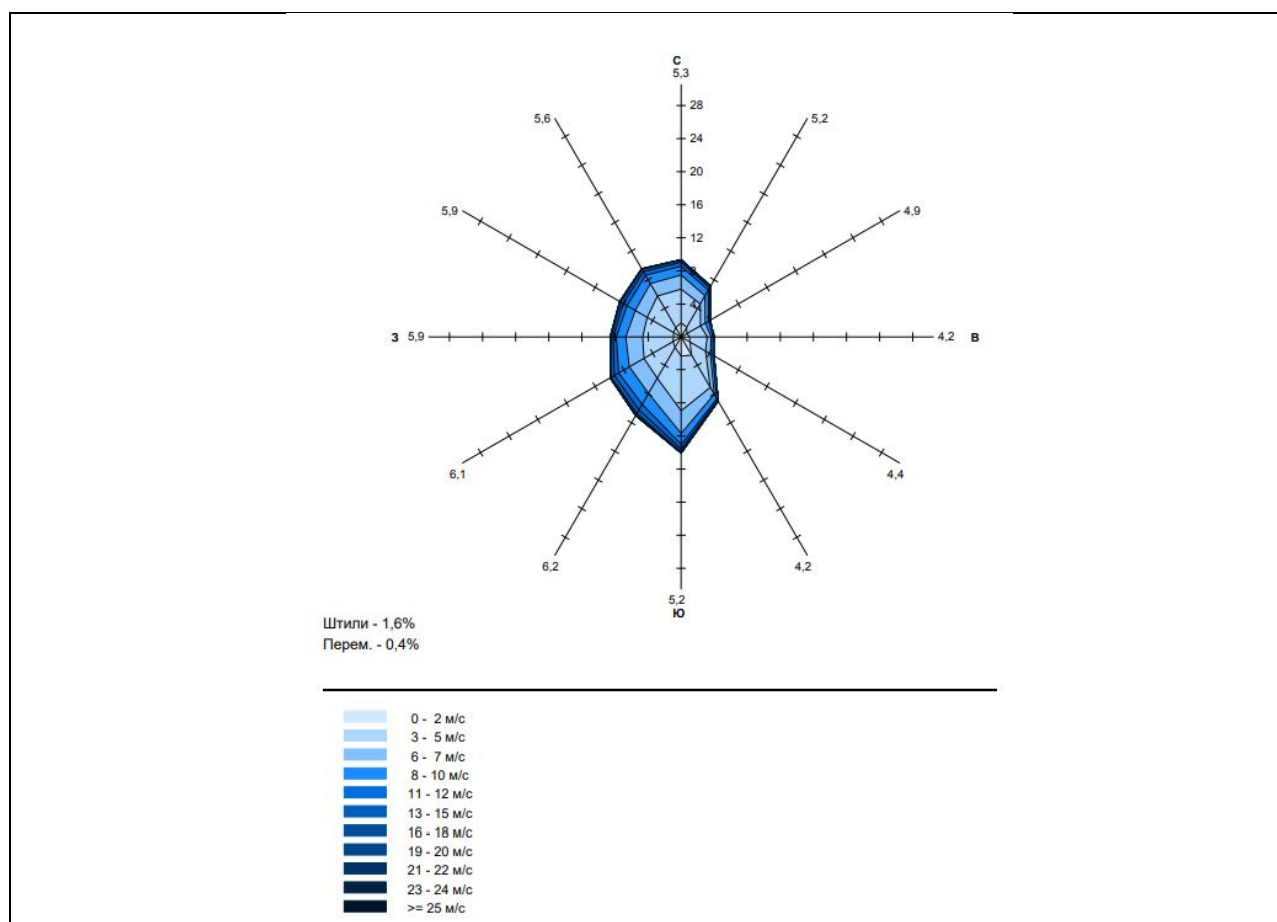


Рис. 13 – Роза ветров, годовая

Приложение Б

Б1 – Выход циклона с юга 18.04.2021

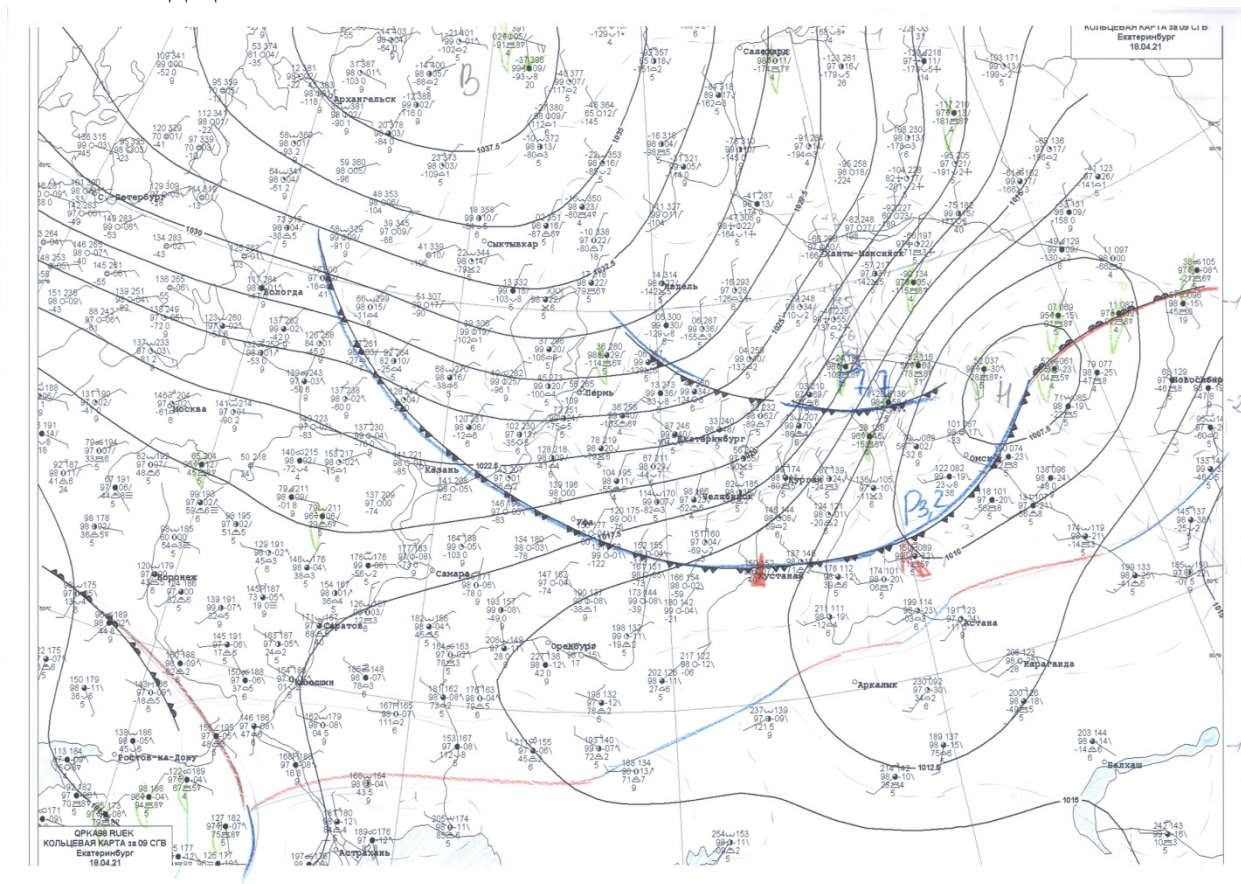


Рис. 1.1 - Приземная карта 18.04.2021, 9.00 СГВ

Выход южного циклона сопровождается увеличением барических градиентов в сопряженной зоне с антициклоном, расположенным над центральными районами Европейской территории России. Горизонтальный градиент давления 3.8 гПа/100км. Ветер более 22м/с.

12	18.04	С	8-18	10 км	2/2 1500 м	+15.0	-4.0	27	+13	+13
13	18.04	С	18-23	10 км	2/2 1500 м	+11.0	-2.0	40	+6	+6
14	18.04	С	17	10 км	2/2 1500 м	+9.0	-4.0	40	+4	+4
15	18.04	С	17	10 км	5/5 1500 м	+5.0	-5.0	48	-2	-2
16	18.04	СВ	9	10 км	5/5 1500 м	+2.0	-7.0	54	5	5

Рис. 1.2 – Дневник погоды АВ-6, 18.04.2021 г.

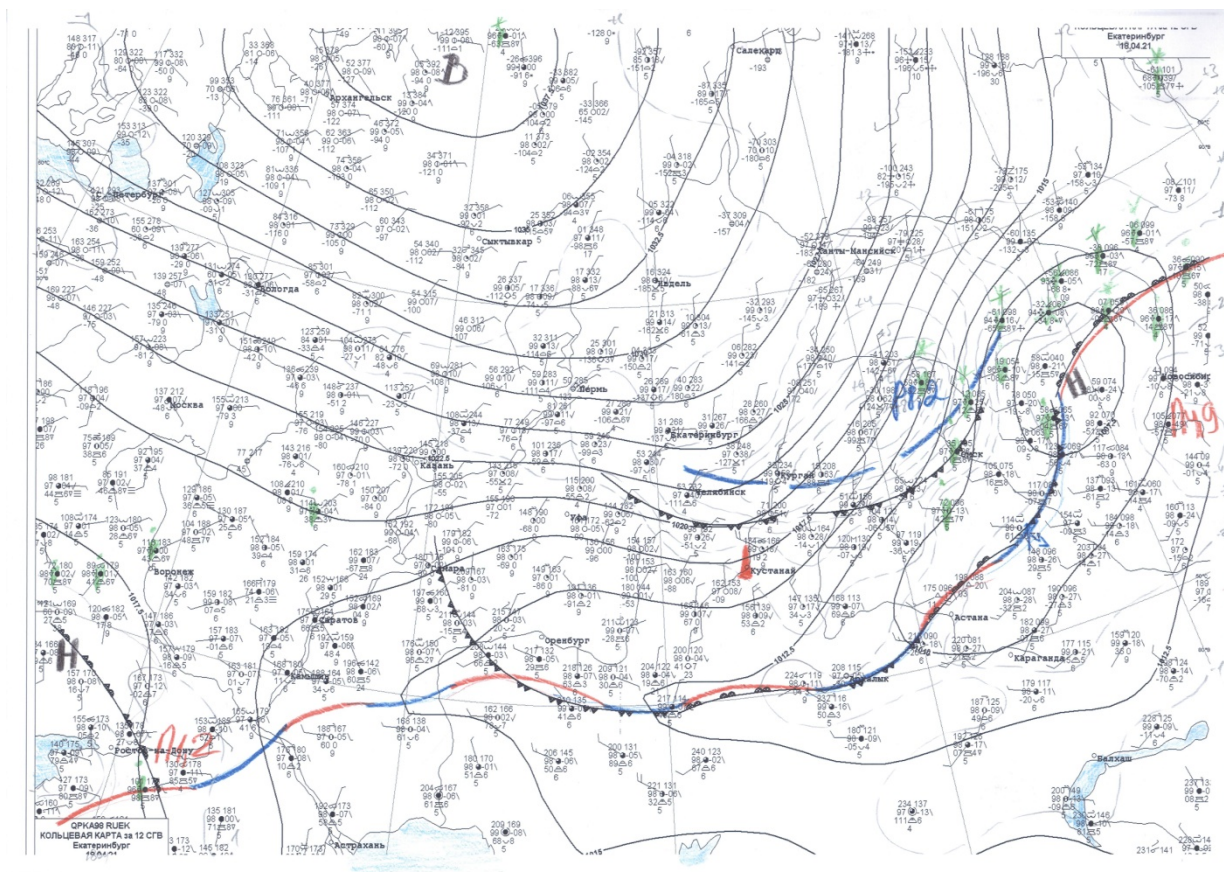


Рис. 1.3 – Приземная карта 18.04.2021, 12.00 СГВ

Б2 – Выход Южно-каспийского циклона

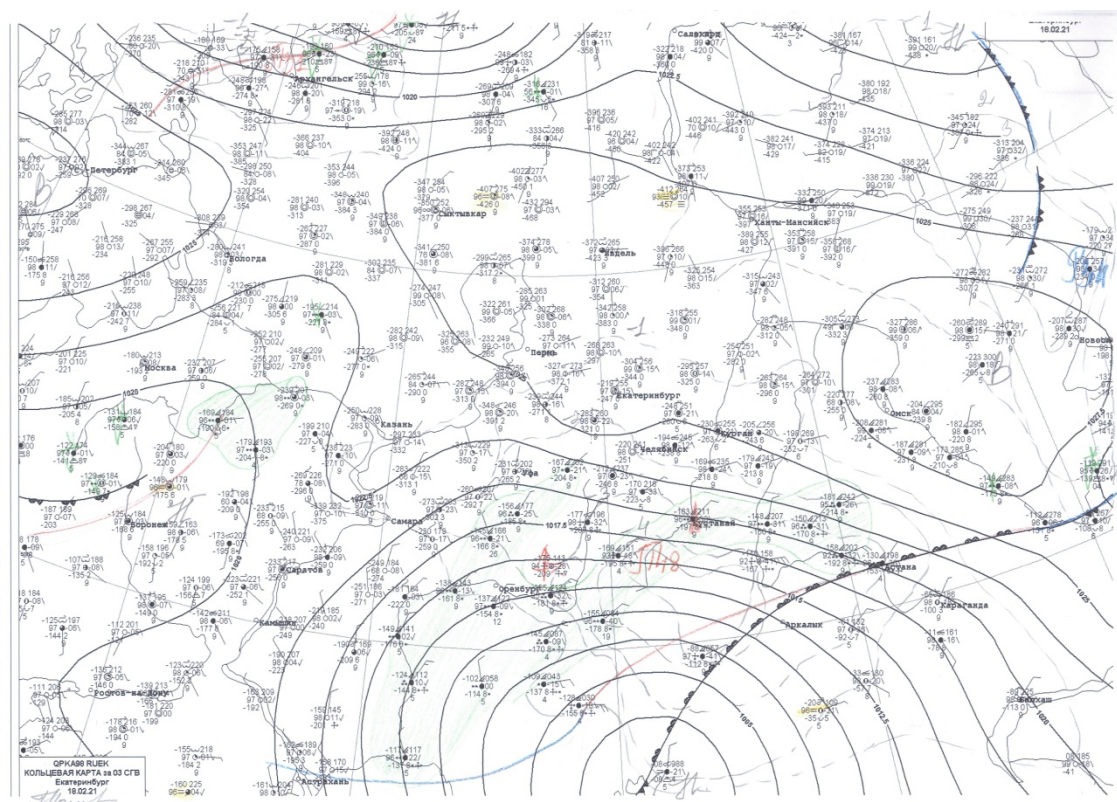


Рис. 1.4 -Приземная карта 18.02.2021, 3.00 СГВ

11	18.02	СВ	12-19	н/о	сильн. снег	10/10 90 м [Ns]	-15.0	-17.0	85	-28	-28	1002.0	981.3				
12	18.02	СВ	15-20	50 м	сильн. снег	?/?	-15.0	-17.0	85	-29	-29	1000.0	978.7				
13	18.02	СВ	15-20	н/о	сильн. снег	?/?	-15.0	-17.0	85	-29	-29	998.0	977.3				
14	18.02	СВ	13-18	300 м	сильн. снег	10/10 450 м [Ns]	-15.0	-17.0	85	-28	-28	1000.0	978.7				
15	18.02	С	10	900 м	сильн. снег	10/10 270 м [Ns]	-15.0	-16.0	92	-27	-27	1002.0	981.3				
16	18.02	С	11	н/о	сильн. снег	10/10 210 м [Ns]	-15.0	-17.0	85	-27	-27	1002.0	981.3				
17	18.02	С	12	800 м	сильн. снег	10/10 300 м [Ns]	-15.0	-17.0	85	-28	-28	1004.0	984.0				

Рис.1.5 - Дневник погоды АВ-6, 18.02.2021 г.

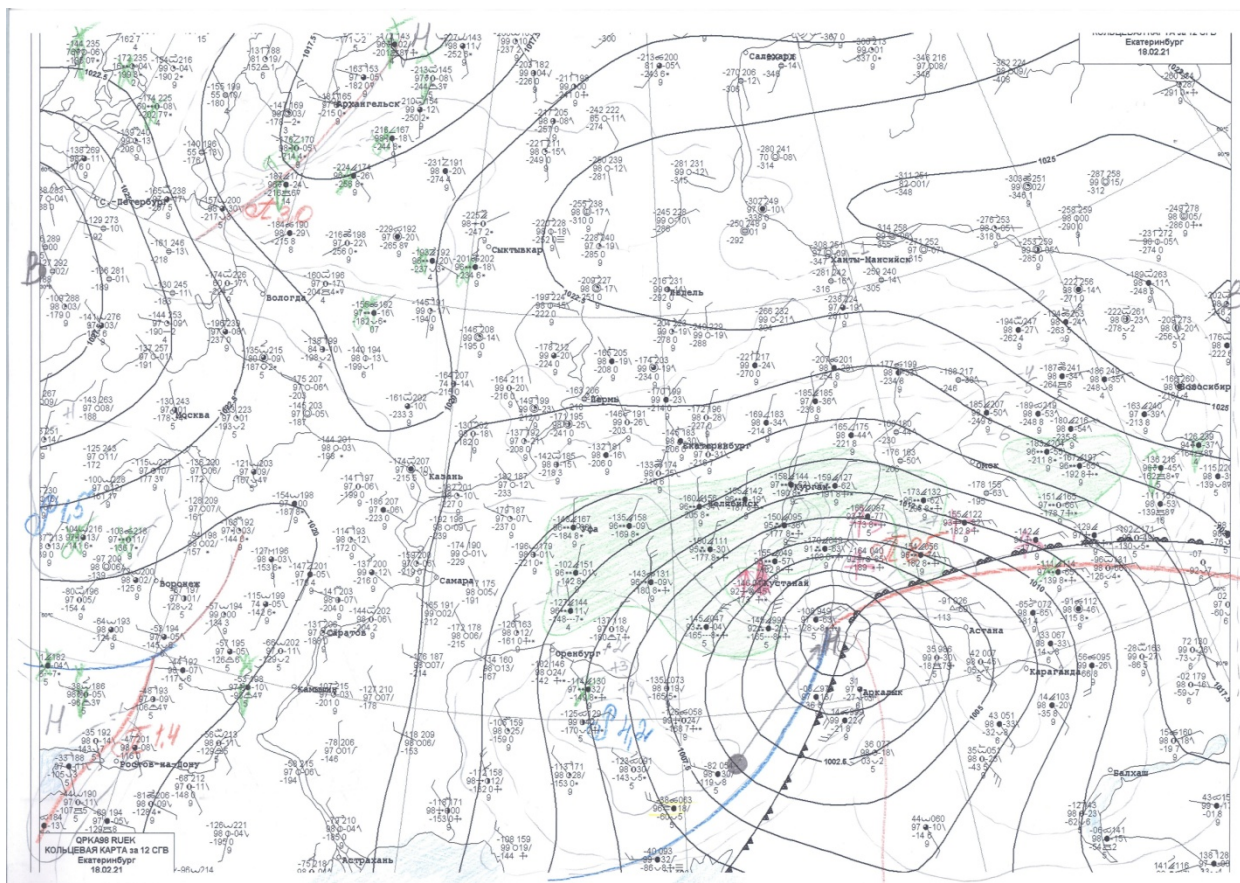


Рис. 1.6 -Приземная карта 18.02.2021, 12.00 СГВ

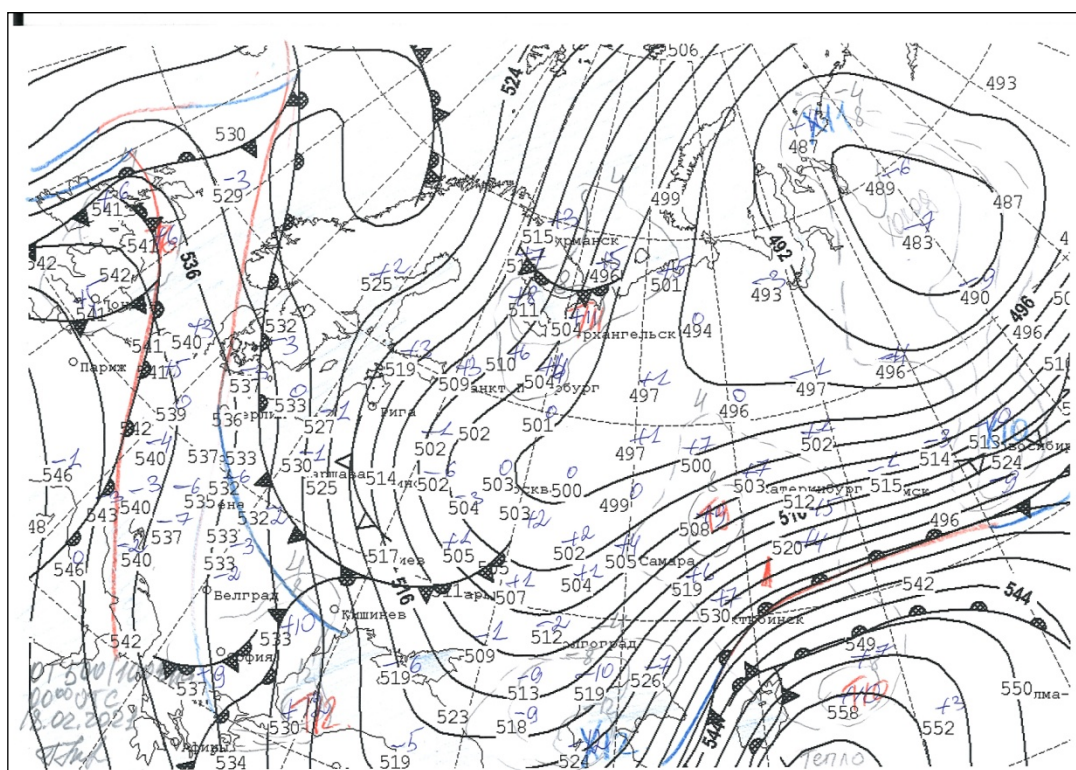


Рис 1.7 – ОТ 500/1000 18.02.2021 Заток тепла с юга