

УТВЕРЖДАЮ

_____/ /

“ “ _____ 20 г.

**Проект оптимизации мощностей
производства сжатого воздуха
системы централизованного
воздухоснабжения промплощадки
ООО «ПТИ»**

1. Постановка задачи

1. Определить оптимальные мощности воздухообеспечения при существующих уровнях потребления, потерь и затрат на осушку;
2. Определить оптимальные мощности воздухообеспечения при планируемом повышении уровня потребления сжатого воздуха.

2. Основные параметры моделируемого объекта

Производство сжатого воздуха:

- 5 компрессоров (4ВМ10-120/9, 4ВМ10-100/8), имеющие одинаковую производительность (100м³/мин), каждый имеет ступенчатую 4-х уровневую (по 25м³/мин), автоматическую регулировку производительности.
- 2 компрессора (4ВП-20/8), имеющие одинаковую производительность 20м³/час.

Потребители сжатого воздуха:

- Энерговставка 1, Ввод 1;
- Энерговставка 1, Ввод 2;
- Энерговставка 2;
- Энерговставка 3;
- Энерговставка 4;
- Пружинный цех;
- Очистка;
- Потери КС.

Для целей моделирования взяты правые части графиков, где потребление максимально (правее вертикальной голубой линии) (Рис 1.).

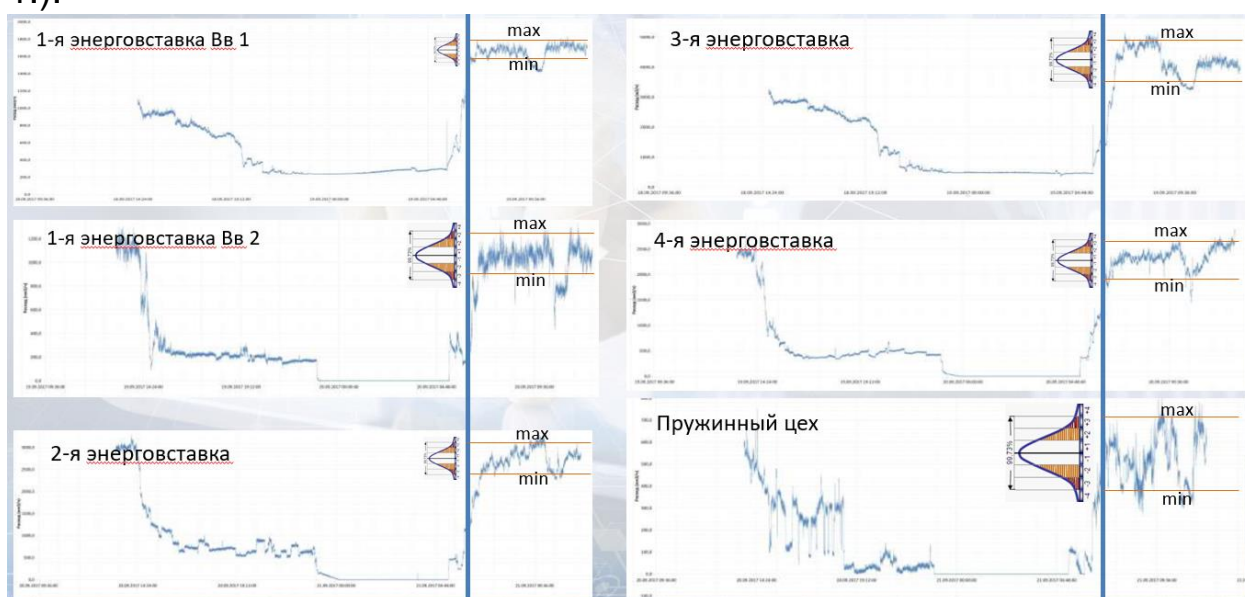


Рис 1. Графики замеров суточного потребления СВ по энерговставкам.

2. Модель «Как есть»

В системе BPROMS создана процессная модель производства и потребления сжатого воздуха (СВ) (см. рис. 2). Представленная модель «Как есть» состоит из 18-х процедур:

- В 4-х процедурах производится СВ (процедуры, подкрашенные розовым цветом);
- В 14-ти процедурах СВ потребляется.

Модель «Как есть» генерируется в следующих предположениях и исходных данных:

- Все процедуры модели работают одновременно (параллельно);
- Каждая процедура состоит из одной уникальной операции;
- Все операции выполняются синхронно и параллельно.
- Время выполнения каждой операции составляет одну минуту;
- Динамическая модель работает по интервалам. Каждый интервал начинается с события «Старт интервала» и заканчивается событием «Конец интервала». Продолжительность каждого интервала – 1 минута;
- Каждая процедура состоит из операции либо производства, либо потребления сжатого воздуха;
- Операции производства сопровождаются параметром «Количество СВ в мин», который принимает случайные значения. Во всех операциях производства СВ параметр «Количество СВ в мин» всегда принимает положительные значения;
- Операции потребления также сопровождаются параметром «Количество СВ в мин», однако во всех операциях потребления СВ параметр «Количество СВ в мин» всегда принимает отрицательные значения;
- Значения \max и \min операционного параметра «Количество СВ в мин» задаются на основе данных документа «Отчет по замерам расхода сжатого воздуха системы централизованного воздухообеспечения промплощадки ООО «ПТИ»» (см. рис 1).
- Случайная величина «Количество СВ в мин» распределена по нормальному закону, причем **$\max - \min = 6 \text{ сигма}$** (см. Табл. 1 Табл. 2 и рис. 1).

Оптимальная мощность производящих сжатый воздух компрессоров при выполнении прогонов имитационного моделирования находится исходя из следующего утверждения:

Сумма потребления и производства сжатого воздуха должна превышать нулевое значение (должна быть положительной) для любого интервала, по всему периоду моделирования.

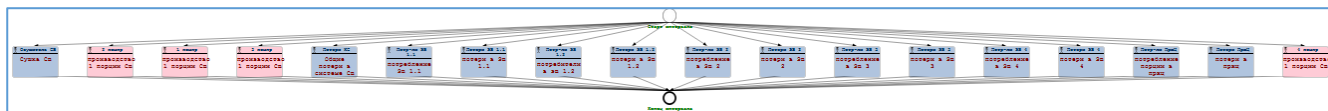
Таблица 1

Наименования потребителей СВ	max	min
Сушка СВ	-81,9117	-96,3667
Общие потери КС	-24,5167	-46,51
Потребление ЭВ 1.1	-25,9392	-30,5167
Потери в ЭВ 1.1	-2,5939	-3,0517
Потребители в эВ 1.2	-59,9317	-85,6167
Потери в ЭВ 1.2	-5,9932	-8,5617
Потребление в ЭВ 2	-14,5058	-23,3167
Потери в ЭВ 2	-1,4506	-2,2317
Потребление в ЭВ 3	-36,1375	-48,1833
Потери в ЭВ 3	-3,6137	-4,8183
Потребление в ЭВ 4	-37,0957	-55,3667
Потери в ЭВ 4	-3,7096	-5,5367
Потребление в ПржЦ	-6,7833	-13,5667
Потери в ПржЦ	-0,6783	-1,3567
Потребление в ПрЭВ	-59,9317	-85,6167
Потери в ПрЭВ	-5,9932	-8,5617

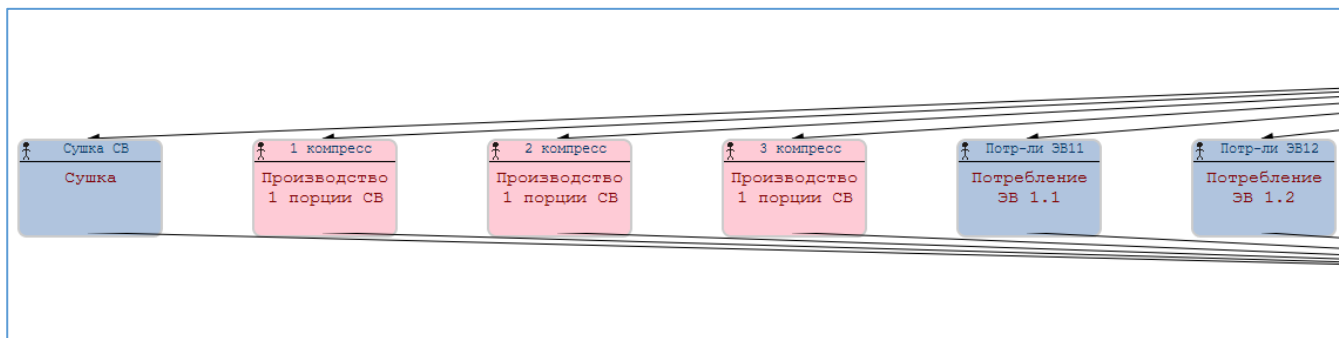
Таблица 2

Наименования производителей СВ	max	min
(1 компр) Производство 1 порции СВ	109,85	93,6222
(2 компр) Производство 1 порции СВ	109,85	93,6222
(3 компр) Производство 1 порции СВ	109,85	93,6222
(4 компр) Производство 1 порции СВ	109,85	93,6222
(1/2 компр) Производство 1/2 порции СВ	58,982	42,7542
(1/4 компр) Производство 1/4 порции СВ	33,5479	17,3201

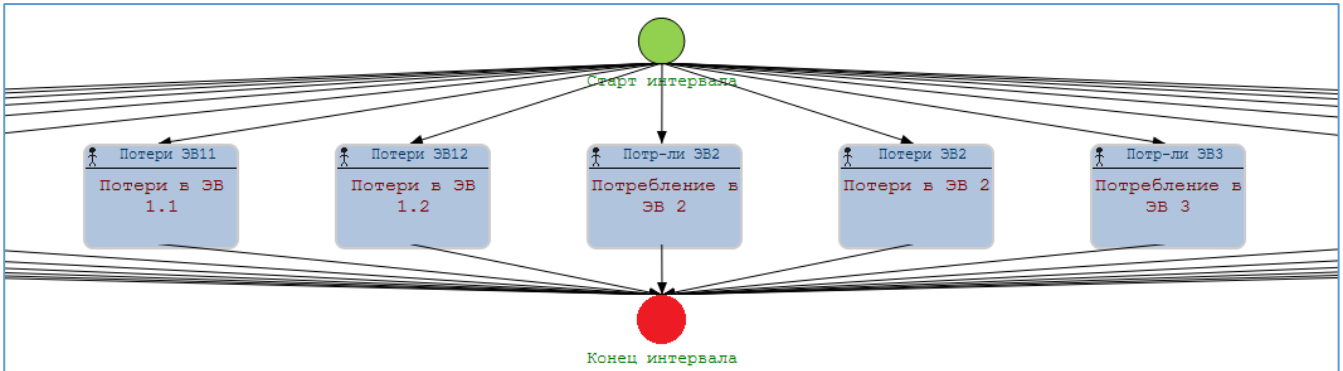
Общий вид модели:



Первая часть модели:



Вторая часть модели:



Третья часть модели:

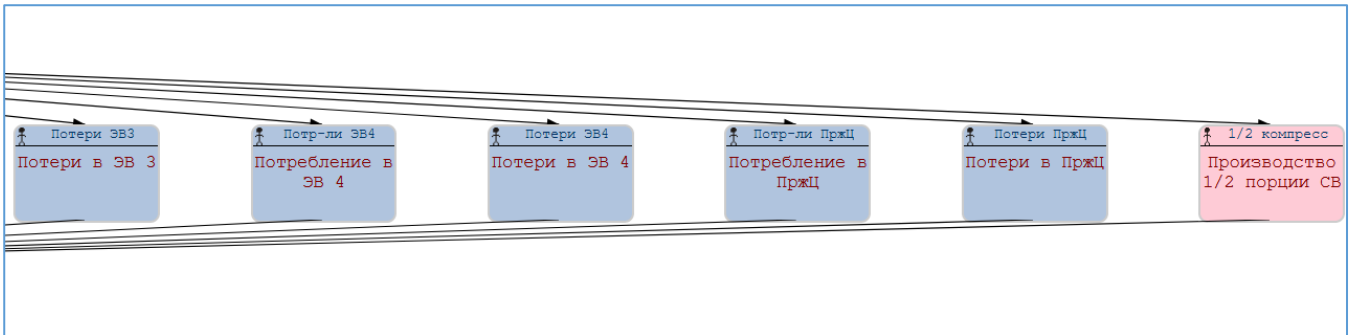


Рис. 2. Автоматически сгенерированная процессная модель производства и потребления сжатого воздуха на ООО «ПТИ» (Модель «Как есть» («AsIs»))

2.1. Имитационная модель. Характеристики прогона от 2019.07.09 11 час. 50 мин.

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Имя стартового события цепочки процесса	"Старт интервала"
2	Имя конечного события цепочки процесса	"Конец интервала"
3	Количество поступивших стартовых событий цепочки процесса	360
4	Моделируемый тип входного потока событий	Регулярный

6	Продолжительность действия входного потока цепочки процесса	6 час. 0 мин. 0 сек.
7	Средний интервал поступления стартовых событий цепочки процесса (математическое ожидание)	0 час. 0 мин. 59 сек.

2.2. Суммарные затраты ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра "м3/мин"
1	Средние суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	42.9514
2	Минимальные суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	13.2377
3	Максимальные суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	68.2423

На рис. 3а,3б представлены график случайной величины и гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса. В нашей модели эта сумма является суммой потребления и производства сжатого воздуха в заданных односторонних интервалах всего периода моделирования. Как видно из графика и гистограммы, при заданных условиях обеспечивается положительный баланс производства и потребления СВ по всему периоду моделирования. Т.е. генерирующих мощностей, а именно 3,5 мощности 4-х компрессоров достаточно для качественного обеспечения сжатым воздухом существующих потребителей.

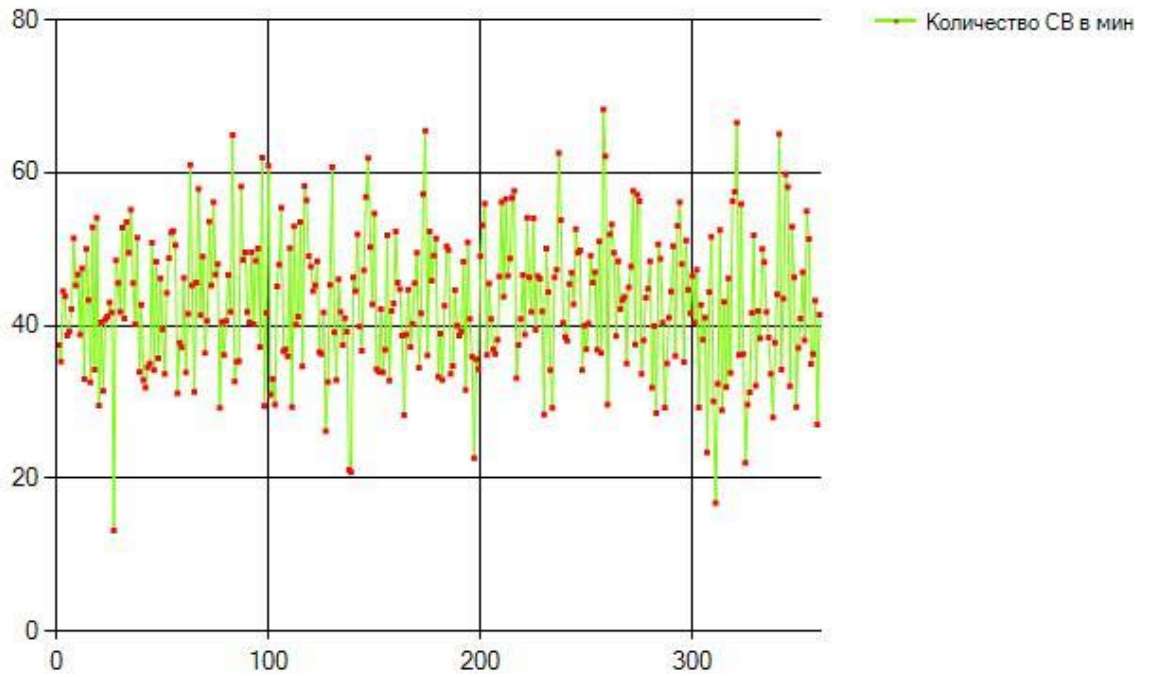


Рис. 3а. График суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **3,5** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

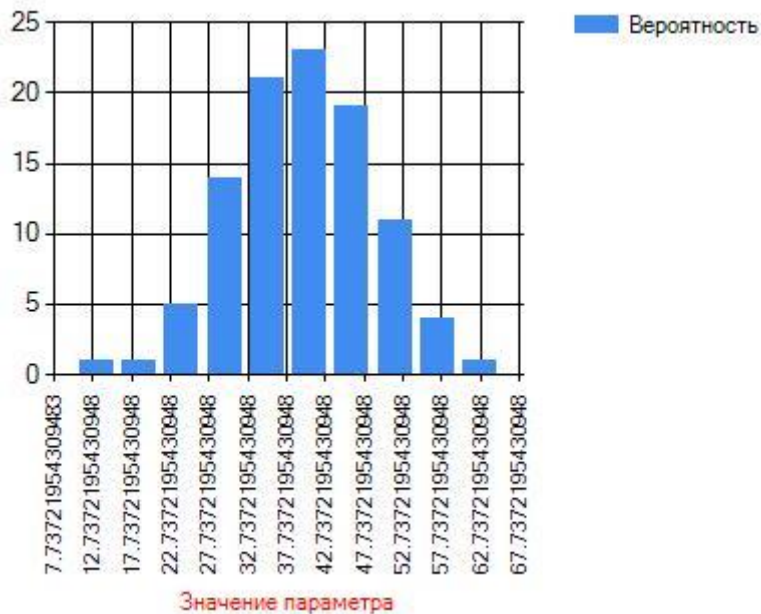


Рис. 3б. Гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **3,5** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

Представленные результаты можно получить непосредственно в демоверсии системы BPROMS. Для этого необходимо:

1. Войти в демоверсию системы BPROMS (см. сайт: Демоверсия);
2. Перейти на закладку «Имитация БП»;
3. Выбрать прогон от «20190709_115003»;
4. Изменить масштаб в браузере до 30%
5. Нажать на кнопку «Схема процесса».
6. Система автоматически построит процесс из параллельно выполняемых процедур.
7. Увеличить масштаб до 100%.
8. Указать стартовое событие. Для этого нужно нажать на любую процедуру, а затем нажать на событие «Старт интервала», указать, что это Стартовое событие и «Запомнить»;
9. Аналогичным образом указать системе конечное событие;
10. Нажать на кнопку «Отчет- "Суммарные затраты ресурса"».
11. Система выдаст отчет.

В эксперименте с мощностью производства сжатого воздуха в 3,25 компрессоров, в некоторых интервалах, мощностей не хватает и баланс производства и потребления СВ в этих интервалах становится отрицательным (см. рис 4а, 4б).

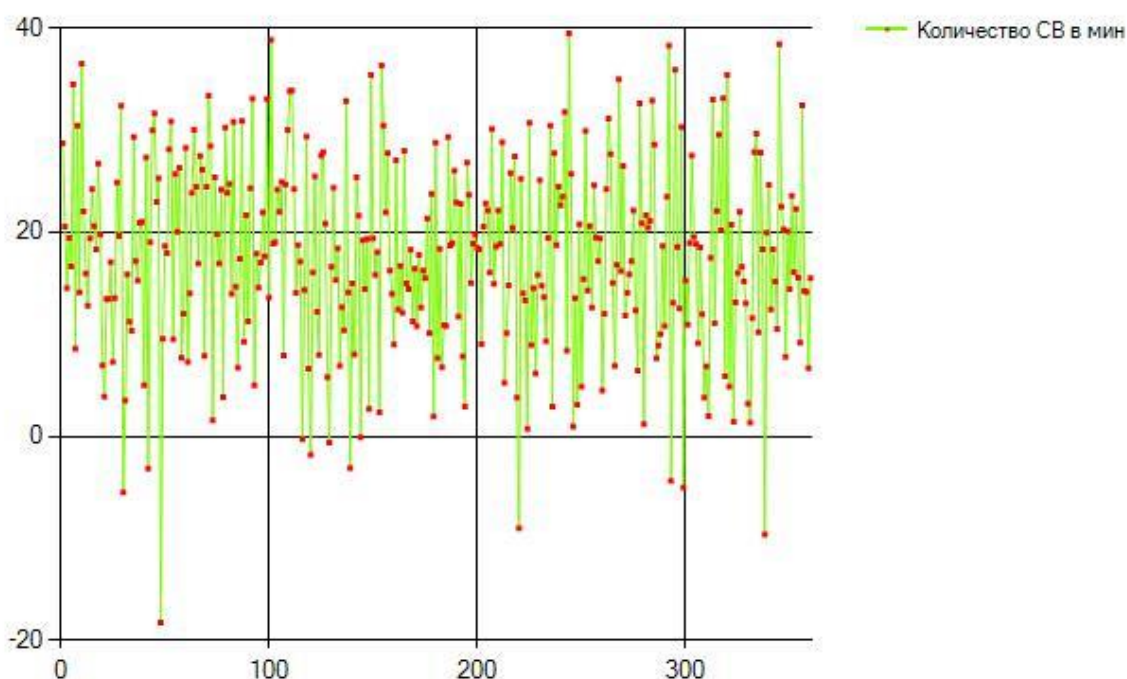


Рис. 4а. График суммарных затрат ресурса «Количество СВ в мин» на единичный результат цепочки процесса от события «Старт интервала» до события «Конечное событие».

события "Конец интервала" при генерирующей мощности **3,25**
компрессоров типа 4ВМ10-120/9

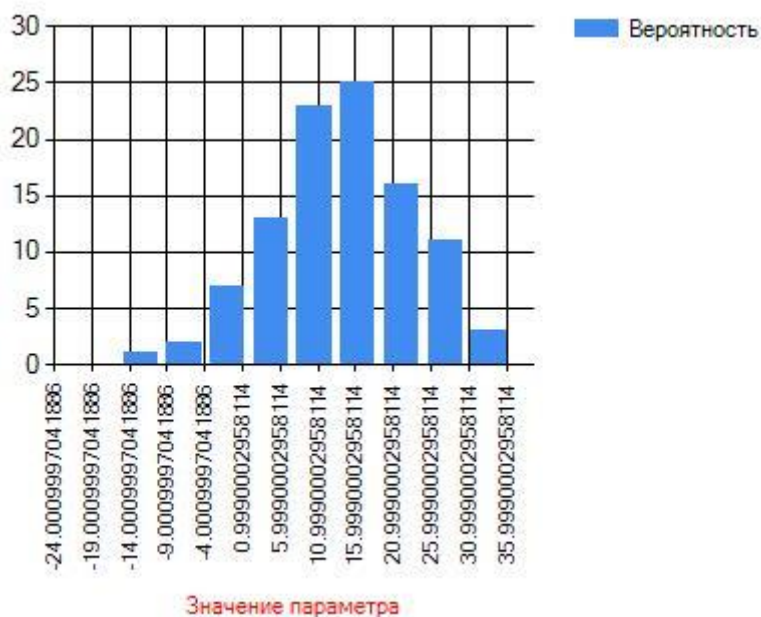


Рис. 4б. Гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единственный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **3,25** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

Представленные результаты можно получить непосредственно в демоверсии системы BPROMS. Для этого необходимо:

1. Войти в демоверсию системы BPROMS (см. сайт: Демоверсия);
2. Перейти на закладку «Имитация БП»;
3. Выбрать прогон от «20190709_113422»;
4. Изменить масштаб в браузере до 30%
5. Нажать на кнопку «Схема процесса».
6. Система автоматически построит процесс из параллельно выполняемых процедур.
7. Увеличить масштаб до 100%.
8. Указать стартовое событие. Для этого нужно нажать на любую процедуру, а затем нажать на событие «Старт интервала», указать, что это Стартовое событие и «Запомнить»;
9. Аналогичным образом указать системе конечное событие;
10. Нажать на кнопку «Отчет- "Суммарные затраты ресурса"».
11. Система выдаст отчет.

2. Модель «Как будет»

По сравнению с моделью «Как есть» в эту модель добавлено потребление (min на 66м³/мин и max на 94м³/мин) в соответствии с планами расширения производства. Необходимо найти, как следует увеличить мощности генерации СВ?

В системе BPROMS сгенерирована процессная модель производства и потребления сжатого воздуха (СВ) (см. рис. 5). Представленная модель «Как будет» состоит из 20-и процедур:

- В 5-ти процедурах производится СВ (процедуры, подкрашенные розовым);
- В 15-ти процедурах СВ потребляется.

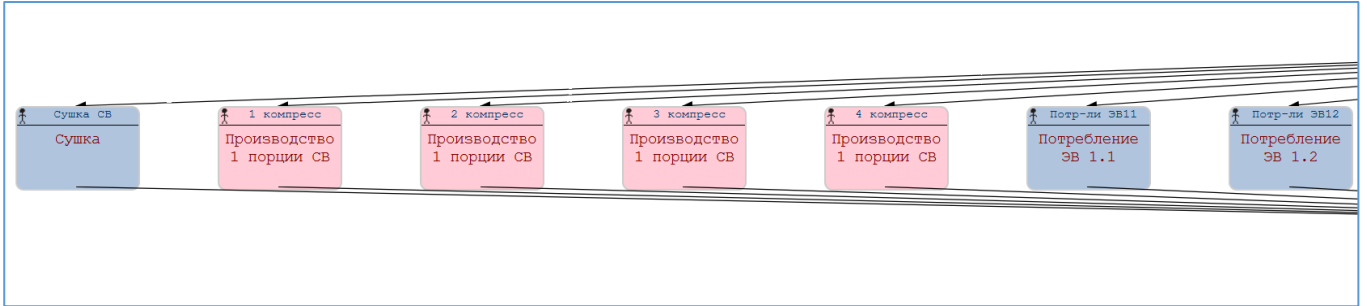
Модель «Как будет» генерируется при следующих предположениях и исходных данных:

- В модель вошли все процедуры потребления модели «Как есть» без каких-либо изменений;
- В модель добавлены 2 процедуры потребления «Потребление ПрЭВ» и «Потери ПрЭВ», которые моделируют потребление новой, проектируемой энергоустановки (min на 66м³/мин и max на 94м³/мин);
- По сравнению с моделью «Как есть» к генерирующим мощностям добавлен 1 компрессор типа 4ВМ10-120/9;
- Все процедуры модели работают одновременно (параллельно);
- Каждая процедура состоит из одной уникальной операции;
- Все операции выполняются синхронно и параллельно.
- Время выполнения каждой операции составляет одну минуту;
- Динамическая модель работает по интервалам. Каждый интервал начинается с события «Старт интервала» и заканчивается событием «Конец интервала». Продолжительность каждого интервала – 1 минута;
- Каждая процедура состоит из операции, либо производства, либо потребления сжатого воздуха;
- Операции производства сопровождаются параметром «Количество СВ в мин», который принимает случайные значения. Во всех операциях производства СВ параметр «Количество СВ в мин» всегда принимает положительные значения;
- Операции потребления также сопровождаются параметром «Количество СВ в мин», однако во всех операциях потребления СВ параметр «Количество СВ в мин» всегда принимает отрицательные значения;
- Значения max и min операционного параметра «Количество СВ в мин» задавались на основе данных документа «Отчет по замерам расхода сжатого воздуха системы централизованного воздухообеспечения промплощадки ООО «ПТИ»».
- Случайная величина «Количество СВ в мин» распределена по нормальному закону, причем **max – min = 6 сигма.** (см.Табл. 1 и 2 и рис1).

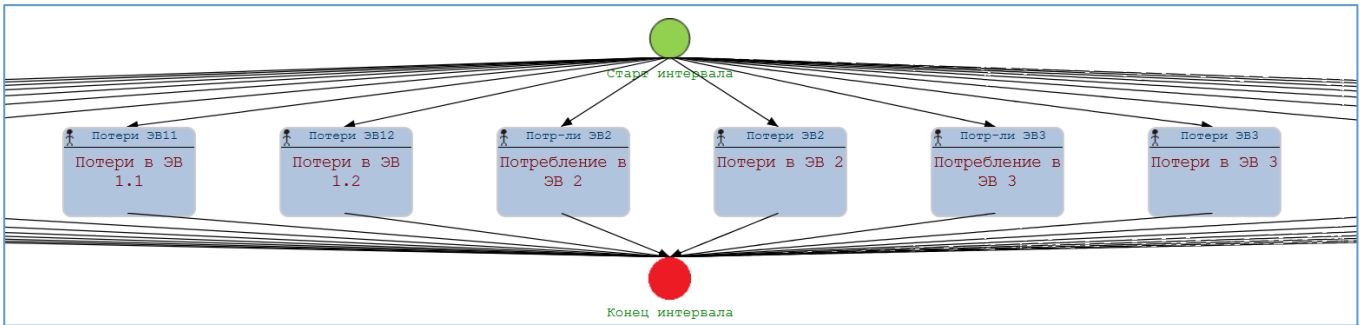
Оптимальная мощность производящих сжатый воздух компрессоров при выполнении прогонов имитационного моделирования находится исходя из следующего утверждения:

Сумма потребления и производства сжатого воздуха должна превышать нулевое значение (должна быть положительной) для любого интервала, по всему периоду моделирования.

Первая часть:



Вторая часть:



Третья часть:

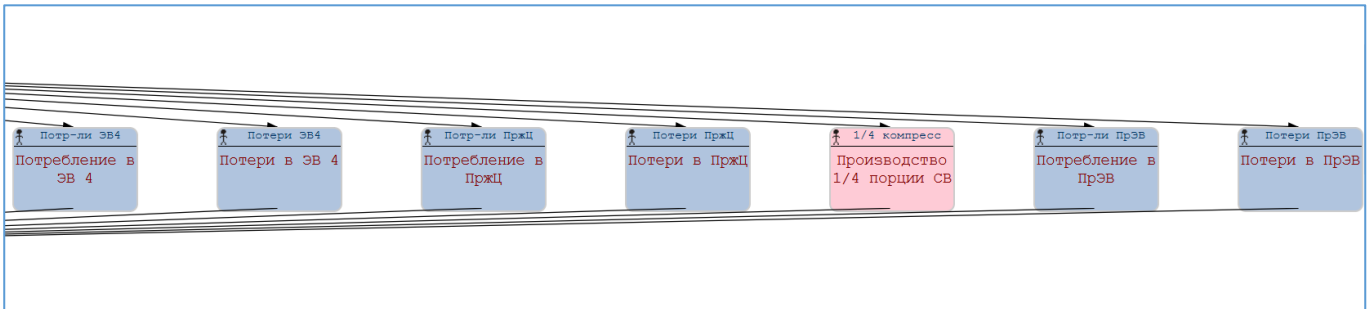


Рис. 5. Автоматически сгенерированная процессная модель производства и потребления сжатого воздуха на ООО «ПТИ» для проектируемого расширения потребления (Модель «Как будет» («ToBe»))

2.1. Имитационная модель. Характеристики прогона от 2019.07.08 22 час. 06 мин.

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Имя стартового события цепочки процесса	"Старт интервала"
2	Имя конечного события цепочки процесса	"Конец интервала"
3	Количество поступивших стартовых событий цепочки процесса	360

4	Моделируемый тип входного потока событий	Регулярный
5	Продолжительность действия входного потока цепочки процесса	5 час. 59 мин. 0 сек.
6	Средний интервал поступления стартовых событий цепочки процесса (математическое ожидание)	0 час. 1 мин. 0 сек.

2.3. Суммарные затраты ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра "м3/мин"
1	Средние суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	41.5829
2	Минимальные суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	15.2511
3	Максимальные суммарные затраты ресурса на единичный результат цепочки процесса	70.4323

На рис. 6а, 6б представлены график случайной величины и гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса. В нашей модели эта сумма является суммой потребления и производства сжатого воздуха в заданных одноминутных интервалах всего периода моделирования. Как видно из гистограммы при заданных условиях обеспечивается положительный баланс производства и потребления СВ по всему периоду моделирования. Т.е. генерирующих мощностей, а именно **4,25** мощности 5-ти компрессоров достаточно для качественного обеспечения сжатым воздухом существующих и будущих потребителей.

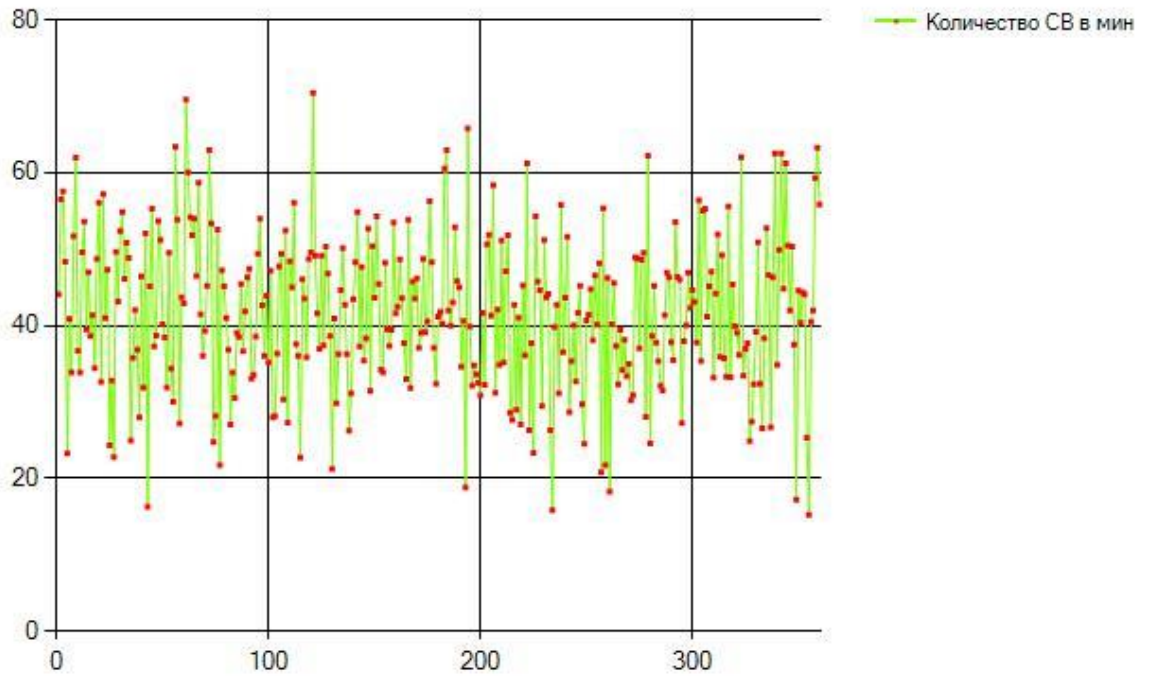


Рис. 6а. График суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единственный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **4,25** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

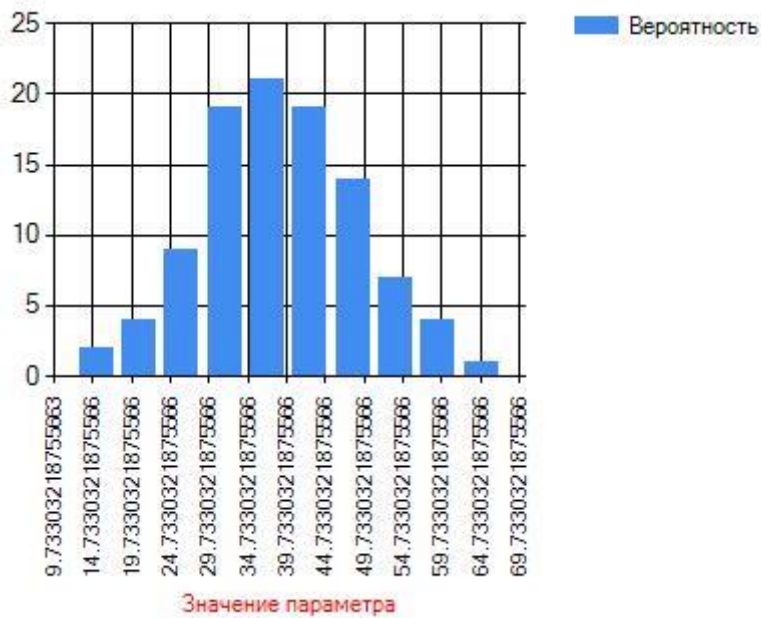


Рис. 6б. Гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единственный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **4,25** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

Представленные результаты можно получить непосредственно в демоверсии системы BPROMS. Для этого необходимо:

12. Войти в демоверсию системы BPROMS (см. сайт: Демоверсия);
13. Перейти на закладку «Имитация БП»;
14. Выбрать прогон от «20190708_220623»;
15. Изменить масштаб в браузере до 30%
16. Нажать на кнопку «Схема процесса».
17. Система автоматически построит процесс из параллельно выполняемых процедур.
18. Увеличить масштаб до 100%.
19. Указать стартовое событие. Для этого нужно нажать на любую процедуру, а затем нажать на событие «Старт интервала», указать, что это Стартовое событие и «Запомнить»;
20. Аналогичным образом указать системе конечное событие;
21. Нажать на кнопку «Отчет- "Суммарные затраты ресурса"».
22. Система выдаст отчет.

В эксперименте с мощностью производства сжатого воздуха, равной мощности 4-ёх компрессоров типа 4ВМ10-120/9, в некоторых интервалах, мощностей не хватает и баланс производства и потребления СВ становится отрицательным (см. рис 7а, 7б).

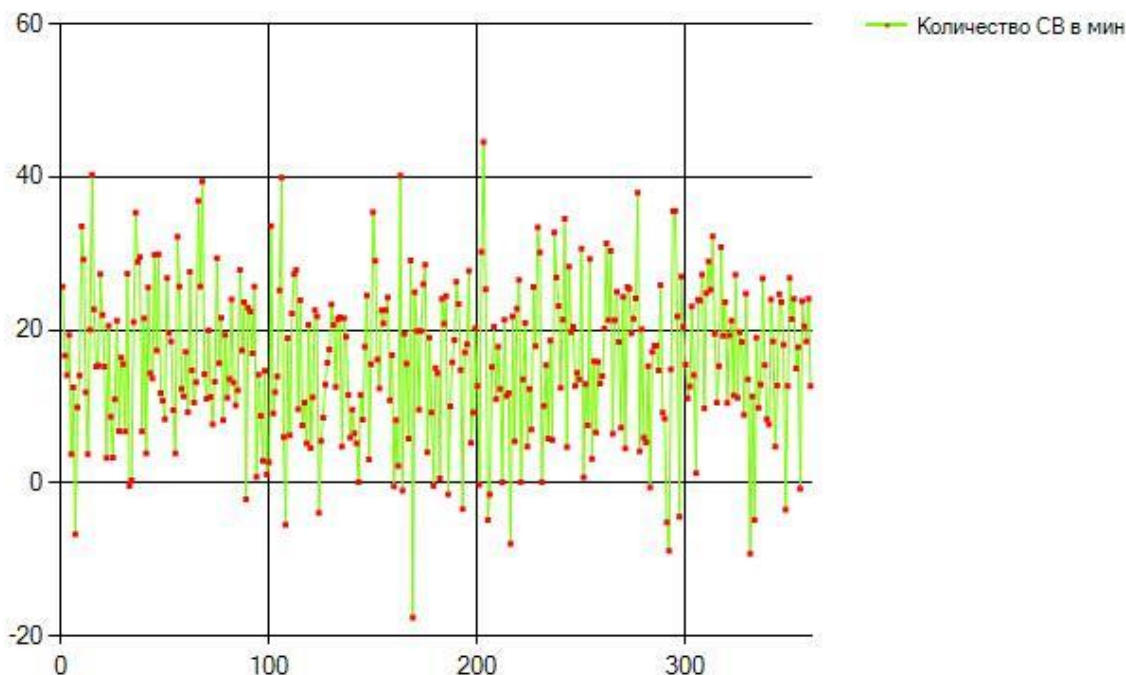


Рис. 7а. График суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала"

события "Конец интервала" при генерирующей мощности **4,00**
компрессоров типа 4ВМ10-120/9

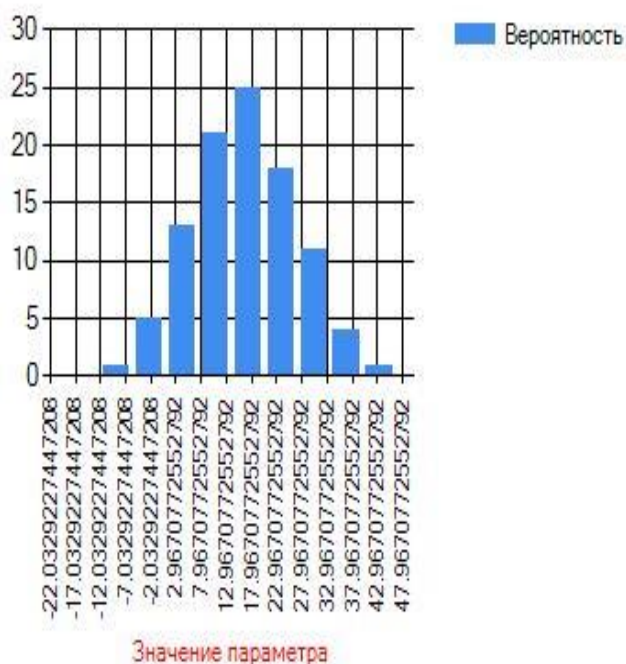


Рис. 76. Гистограмма плотности распределения вероятности суммарных затрат ресурса "Количество СВ в мин" на единичный результат цепочки процесса от события "Старт интервала" до события "Конец интервала" при генерирующей мощности **4,00** компрессоров типа 4ВМ10-120/9

Представленные результаты можно получить непосредственно в демоверсии системы BPROMS. Для этого необходимо:

1. Войти в демоверсию системы BPROMS (см. сайт: Демоверсия);
2. Перейти на закладку «Имитация БП»;
3. Выбрать прогон от «20190708_234539»;
4. Изменить масштаб в браузере до 30%
5. Нажать на кнопку «Схема процесса».
6. Система автоматически построит процесс из параллельно выполняемых процедур.
7. Увеличить масштаб до 100%.
8. Указать стартовое событие. Для этого нужно нажать на любую процедуру, а затем нажать на событие «Старт интервала», указать, что это Стартовое событие и «Запомнить»;
9. Аналогичным образом указать системе конечное событие;
10. Нажать на кнопку «Отчет- "Суммарные затраты ресурса"».
11. Система выдаст отчет.

Результаты и выводы

1. На примере централизованного воздухообеспечения промплощадки ООО «ПТИ» представлены функциональные возможности системы BPROMS.
2. Система BPROMS позволяет в кратчайшие сроки создать имитационную модель производства сжатого воздуха крупного производственного предприятия и на базе этой модели найти пути оптимального развития мощностей. Такие модели в последнее время часто называют цифровыми двойниками.
3. На разработанной комплексной модели «**Как есть**» показано, что при существующей структуре, производственной нагрузки и уровню потерь оптимальное количество одновременно работающих компрессоров типа 4BM10-120/9 составляет **3,25 шт.**
4. На разработанной комплексной модели «**Как будет**» показано, что повышении потребления на $\min=66\text{м}^3/\text{мин}$ и $\max=94\text{м}^3/\text{мин}$ оптимальное количество одновременно работающих компрессоров типа 4BM10-120/9 составит **4,25 шт.**
5. При оценке оптимальных мощностей, как в модели «Как есть», так и в модели «Как будет» принималось следующее положение о приемлемом качестве производства, а именно, в каждом одноминутном интервале объем производства СВ должен превышать объем потребления СВ. Таким образом, **модели учитывают показатели качества предоставляемых услуг по производству СВ.**
6. На представленных моделях можно также решать задачи:
 - энергопотребления,
 - влияния потерь на энергопотребление,
 - влияния потерь на выбор оптимальных мощностей КС,
 - эффективности ввода новых типов оборудования,
 - др.
7. Модель «**Как есть**» показала, что оптимальным количеством одновременно работающих компрессоров 4BM10-120/9 является **3,25 шт.** Такое количество соответствует фактическому положению вещей в существующей системе воздухообеспечения, что подтверждает корректность построенной модели в системе BPROMS и правильность методики моделирования.