

# Асинхронный частотно-регулируемый взаимосвязанный электропривод

## аппарата воздушного охлаждения нефтепродуктов

**В статье рассмотрены аспекты применения асинхронного частотно-регулируемого взаимосвязанного электропривода для аппаратов воздушного охлаждения нефтепродуктов, содержащих группу вентиляторов.**

**Владимир Копырин,**  
к. т. н.

kamen@mail.ur.ru

**Валерий Бакута**

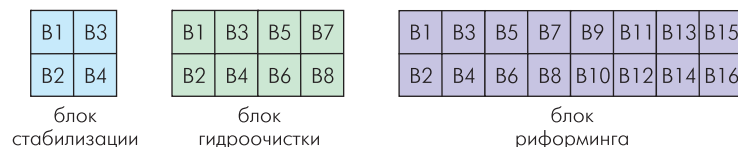
bakuta\_vp@npz-Saratov.ru

### Введение

К числу ответственных технологических процессов при производстве различных видов нефтепродуктов (НП) на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) относится их охлаждение. На одной из завершающих производственных стадий НП находится в горячем состоянии (НПГ). Температура ( $T_{НПГ}$ ) нагретого нефтепродукта изменяется в широком диапазоне и зависит от вида НП (бензин, керосин, дизельное топливо и т. д.), технологического режима, времени года и суток и может достигать 200 °С и более. Для дальнейшего использования НПГ требуется его охлаждение (НПО) до температуры ( $T_{НПО}$ ), равной заданному по технологии значению ( $T_{НПОЗ}$ ). Заданная температура  $T_{НПОЗ}$  определяется видом производимой продукции и характером дальнейшей ее переработки. Поэтому охлаждение НП относится к важным технологическим процессам, характеризующим непрерывностью, требованиями высокой надежности, точности поддержания  $T_{НПОЗ}$ , автоматизации, пожаро- и взрывобезопасности. Процесс уменьшения температуры  $T_{НПГ}$  до температуры  $T_{НПО}$ , равной заданной  $T_{НПОЗ}$ , производится аппаратом воздушного охлаждения нефтепродукта (АВО НП) [1–9].

### 1. Охлаждение нефтепродуктов

Аппараты воздушного охлаждения НП представляют собой теплообменники, которые на нефтеперерабатывающих заводах также называются воздушными теплообменниками и холодильниками. Конструктивно АВО НП состоит из трех основных узлов [4–9]:



**Рис. 1.** Расположение вентиляторов в 4-, 8- и 16-вентиляторных АВО НП

- трубной решетки, выполненной в виде нескольких секций;
- одного или нескольких вентиляторных агрегатов, каждый из которых содержит вентилятор (В) и приводной асинхронный короткозамкнутый двигатель (АД);
- несущей конструкции.

Горячий нефтепродукт НПГ, являющийся теплоносителем теплообменного аппарата, прокачивается по трубам, расположенным с определенным шагом в трубной решетке, секции которых соединяются параллельно и располагаются попарно в виде шалаша и, реже, горизонтально [8]. Теплоъем с НПГ производится окружающим воздухом. Для повышения интенсивности теплообмена (ИТ) между НПГ и окружающим воздухом используется принудительное охлаждение воздушным потоком, создаваемым вентилятором (вентиляторами), направляемым на трубную решетку.

Число секций и вентиляторов в одном АВО НП бывает различным [3–9]. Наиболее широко используются одно- [4, 5], двух- [6, 7], четырех- [8], восьми- и шестнадцативентиляторные АВО НП. Расположение вентиляторов в 4-, 8- и 16-вентиляторных АВО НП одной из установок по производству нефтепродуктов на Саратовском НПЗ приведено на рис. 1.

### 2. Асинхронный нерегулируемый электропривод

Для АВО НП, приведенных на рис. 1, применяется асинхронный взаимосвязанный нерегулируемый по скорости вращения вентиляторов электропривод (АЭП). Каждый вентилятор приводится во вращение своим АД, статорные обмотки которого подключаются к питающей сети с номинальным напряжением 380 В. Скорость вращения приводных АД незначительно изменяется при отклонениях напряжения и частоты в сети и при изменении нагрузки, создаваемой вентиляторами. Поэтому практически не изменяется скорость вращения вентиляторов  $V1-VN$  (где  $N = 4, 8$  или  $16$ , т. е. числу вентиляторов в одном АВО НП) и напор  $H_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), создаваемый каждым вентилятором.

Для удобства анализа режимов работы АВО НП представим его состоящим из  $N$  модулей, каждый из которых содержит: приводной АД, вентилятор, часть трубной решетки с жалюзи, на которую направлен воздушный поток данного вентилятора, и кожух, направляющий на указанную часть трубной решетки воздушный поток, создаваемый вентилятором. Следовательно, число модулей равно числу вентиляторов:  $N_M = N_B$ .

Температура  $T_{НПО}$  охлажденного НП зависит от трех факторов [4 9]:

- температуры  $T_{НПГ}$  на входе АВО НП;
- температуры  $T_{OC}$  окружающей среды (АВО НП находится на открытом воздухе);
- интенсивности теплообмена  $ИТ_{\Sigma}$  между трубной решеткой с НП и направленными на нее воздушными потоками, создаваемыми вентиляторами  $B1-BN$ :

$$T_{НПО} = f(T_{НПГ}, T_{OC}, ИТ_{\Sigma}) \quad (1)$$

Первый фактор ( $T_{НПГ}$ ) обусловлен видом производимого нефтепродукта и технологическим режимом. Второй фактор ( $T_{OC}$ ) зависит от сезона, времени суток и погоды в конкретный момент времени. Первый и второй факторы влияют на  $T_{НПО}$ , но не могут регулировать температуру НПО и, следовательно, обеспечивать ее заданное значение.

Регулировать или стабилизировать  $T_{НПО}$  можно только путем изменения интенсивности теплообмена  $ИТ_{\Sigma}$ , который зависит от:

- числа  $N$  работающих вентиляторов  $B1-BN$ ;
- давления  $H_{\Sigma}$  воздушного потока на трубные решетки, создаваемого вентиляторами АВО НП:

$$H_{\Sigma} = H_1 + H_2 + \dots + H_N; \quad (2)$$

- интенсивности теплосъема  $ИТС_{\Sigma}$  с нефтепродукта:

$$ИТС_{\Sigma} = ИТС_1 + ИТС_2 + \dots + ИТС_N. \quad (3)$$

Следовательно, интенсивность теплообмена определяется так:

$$ИТ_{\Sigma} = f(N_B, H_{\Sigma}, ИТС_{\Sigma}). \quad (4)$$

В свою очередь интенсивность теплосъема каждого  $i$ -го модуля  $ИТС_i$  зависит от угла  $\beta_i$  направляющих пластин жалюзи  $i$ -го модуля АВО НП:

$$ИТС_i = (\beta_i). \quad (5)$$

Давление  $H_i$  воздушного потока на трубную решетку  $i$ -го модуля АВО НП или производительность вентиляторных агрегатов определяется углом направления (атаки) лопаток вентилятора  $B_i$  и скоростью вращения вентилятора  $\omega_{B_i}$  (приводного двигателя АД  $\omega_{M_i}$ ):

$$H_i = f(\alpha_i, \omega_i). \quad (6)$$

При нерегулируемом электроприводе реализуется комбинированное управление интенсивностью теплообмена:

- электрическое, ступенчатое путем ввода в работу от 1 до  $N$  приводных двигателей (вентиляторов);
- механическое, плавное путем изменения углов управления направляющих пластин жалюзи и углов лопаток вентиляторов. Следовательно, интенсивность теплообмена при использовании нерегулируемого АЭП

$$ИТ_{\Sigma} = f(N_B, \alpha_i, \beta_i) \quad (7)$$

Механический способ позволяет регулировать давление, создаваемое вентилятором на трубную решетку модуля вниз от номинального давления  $H_{ном}$  в пределах:

- изменением угла  $\alpha$ : от  $H_{ном}$  до  $0,7H_{ном}$ ;
- изменением угла  $\beta$ : от  $H_{ном}$  до  $0,5H_{ном}$ .

Механический способ регулирования интенсивности теплообмена АВО НП обладает рядом недостатков:

- повышенное потребление электроэнергии электроприводом вентиляторов АВО НП из сети при регулировании температуры  $T_{НПО}$ ;
- большие потери электроэнергии и нагрев приводных АД;
- сложность и требование определенного времени на изменение угла  $\alpha$ ;
- необходимость вывода вентилятора из работы при изменении угла его лопаток;
- трудность точного регулирования и стабилизации температуры охлажденного нефтепродукта;
- практическая невозможность создания эффективной системы автоматического управления АВО НП.

Кроме этого, применение нерегулируемого по скорости электропривода вентилятора АВО НП имеет ряд известных существенных недостатков [5]:

- продолжительное время пуска из-за большого момента инерции вентилятора и приводного АД;
- значительные и продолжительные пусковые токи и мощность электродвигателя, отрицательно воздействующие на АД и систему электроснабжения;
- повышенное и продолжительное потребление активной и реактивной энергии из сети;
- большие динамические моменты АД при пуске, отрицательно воздействующие на двигатель и механическую часть, особенно при встречном вращении лопастей вентилятора от воздушных потоков, возникающих в АВО НП.

### 3. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод

Перечисленные недостатки, присущие нерегулируемому АЭП и механическому способу управления интенсивностью теплосъема с охлаждаемого НП, исключаются с применением электрического способа регулирования давления и скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором [4-9]. Он наиболее эффективно реализуется с применением системы «преобразователь частоты — асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) [1-9].

При электрическом способе регулирования интенсивности теплообмена охлаждаемого НП производится комбинированно:

- числом работающих АД (вентиляторов);
- плавным регулированием скорости АД (вентиляторов).

$$ИТ = f(N_B, B_1-B_N) \quad (8)$$

Для получения наибольшего энергосберегающего эффекта необходимо установить оптимальный угол  $\alpha_{опт}$  лопаток вентиляторов  $B_1-B_N$ , при котором КПД вентиляторов будет максимальным [1].

Электрический способ регулирования ИТ позволяет плавно изменять давление и скорость воздушного потока каждого вентилятора от нуля до номинального значения. Его использование обеспечивает во всех режимах работы технологической установки и возможных температурах окружающей среды заданную или несколько меньшую ( $\Delta T \leq 2$  °C) температуру охлажденного НП при минимальном потреблении электроэнергии из сети и потерях в двигателях:

$$T_{НПОЗ} - T_{НПО} = 0 - \Delta T \quad (9)$$

В качестве примера рассмотрим асинхронный частотно-регулируемый взаимосвязанный электропривод (АЧЭП) АВО НП с восьмью АД (вентиляторами). Схема расположения вентиляторов и потока охлаждаемого НП приведена на рис. 2.

Электрическая схема 8-двигательного взаимосвязанного АЧЭП АВО НП приведена на рис. 3.

Для реализации заданных режимов охлаждения НП целесообразно применение двух преобразователей частоты для управления восьмью приводными двигателями  $M1...M8$ . Схема обеспечивает высокую надежность работы АВО НП. Для этого в нормальном режиме работы системы электроснабжения (СЭС) и преобразователей частоты предусмотрено:

- питание ПЧ1 от первой системы шин  $I_{сш}$ , а ПЧ2 от второй системы шин  $II_{сш}$ , то есть от двух источников электроэнергии;
- питание четырех приводных АД ( $M1, M3, M5, M7$ ) первого ряда вентиляторов ( $B1, B3, B5, B7$ ) от сети  $I_{сш}$ , а четырех привод-

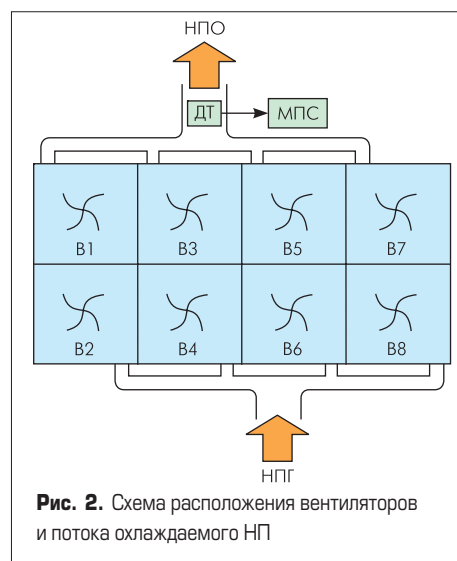


Рис. 2. Схема расположения вентиляторов и потока охлаждаемого НП

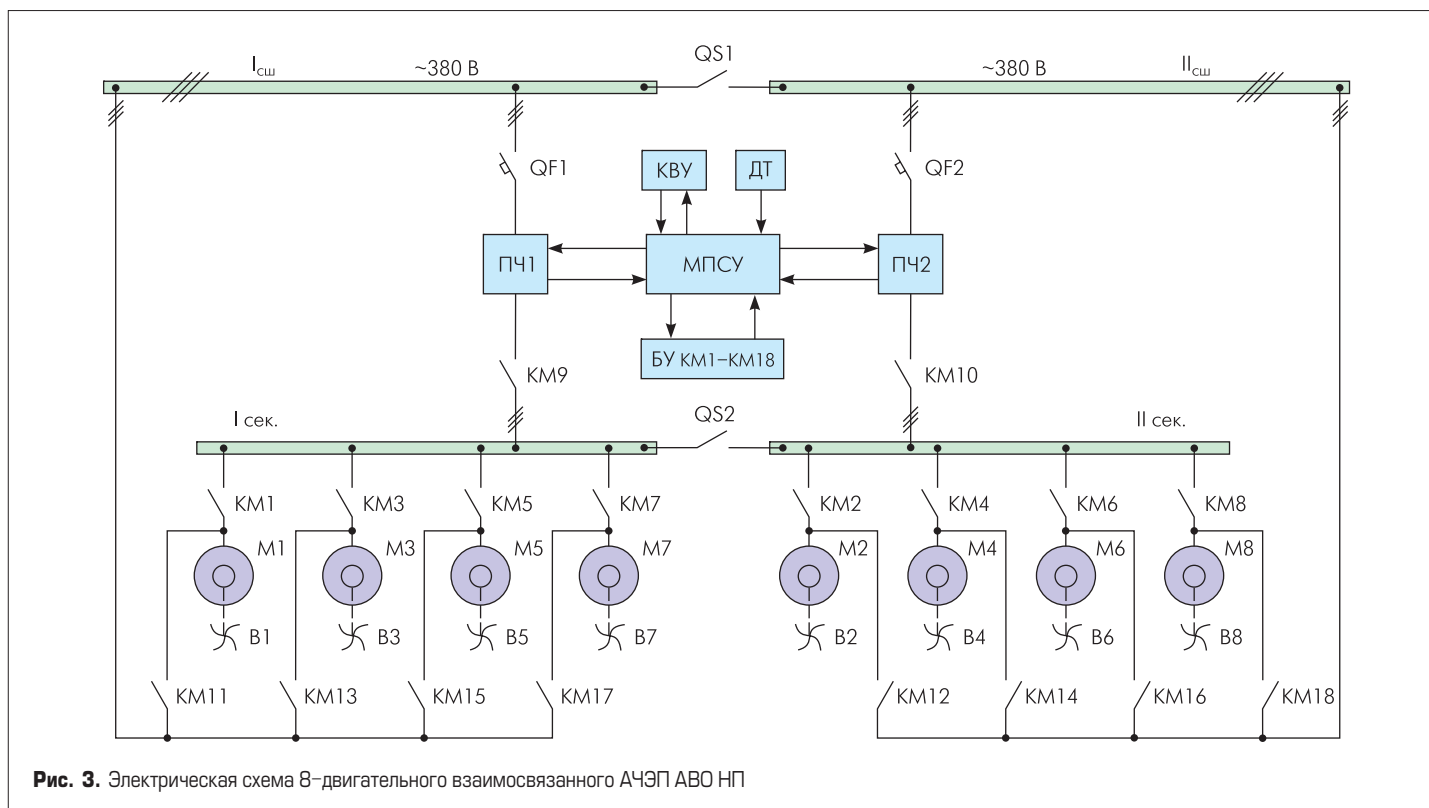


Рис. 3. Электрическая схема 8-двигательного взаимосвязанного АЧЭП АВО НП

ных АД (M2, M4, M6, M8) второго ряда вентиляторов (B2, B4, B6, B8) от сети II<sub>сш</sub>;

- управление каждым из четырех приводных АД первого ряда вентиляторов — от ПЧ1, а каждым из четырех приводных АД второго ряда вентиляторов — от ПЧ2;
- обеспечение температуры  $T_{НПО}$  охлажденного нефтепродукта на выходе АВО НП, равной заданной  $T_{НПОЗ}$ , во всем возможном диапазоне изменения температуры  $T_{НПГ}$  на входе АВО НП путем плавного регулирования скорости двух АД (двух вентиляторов) и необходимого числа АД, подключенных непосредственно к сети (скорость вентиляторов близкая к номинальной);
- обеспечение плавного пуска всех приводных АД (M1...M8) и всех вентиляторов (B1...B8).

В аварийном режиме СЭС или ПЧ схема взаимосвязанного АЭП обеспечивает:

- питание ПЧ1 от II<sub>сш</sub>, а питание ПЧ2 от I<sub>сш</sub>;
- управление каждым из всех приводных АД (M1...M8) от ПЧ1 или ПЧ2;
- питание всех приводных АД (M1...M8) от I<sub>сш</sub> или II<sub>сш</sub>;
- обеспечение плавного пуска всех приводных АД;
- обеспечение температуры  $T_{НПО}$ , равной  $T_{НПОЗ}$ .

Стабилизация температуры охлажденного НП предусматривает автоматическое и ручное (при наладке и неисправностях в системе регулирования) управление скоростью вентиляторов B1...B8. Автоматическое регулирование реализуется с помощью микропроцессорной системы управления МПСУ и датчика температуры ДТ охлажденного НП (см. рис. 2 и 3). МПСУ выполняет функцию локального контроллера. Контроллер верхнего уровня (КВУ), управляющий технологической установкой для производства нефтепродуктов, осуществляет обмен информа-

цией с МПСУ и в случае необходимости корректирует задание на температуру  $t_{НПО}$  охлажденного нефтепродукта.

На рис. 4 приведены диаграммы изменения температуры НПГ и НПО и скоростей приводных двигателей M1...M8 вентиляторов АВО НП. Исходной является диаграмма изменения температуры  $T_{НПГ}$  горячего нефтепродукта (начиная с температуры  $T_{OC}$  окружающей среды для одного из возможных технологических процессов. При этом температура охлажденного НП должна на начальном этапе не превышать, а затем оставаться равной заданной ( $T_{НПО} = T_{НПОЗ}$ ).

Соответствующие диаграммы изменения скорости  $\omega_{M1} - \omega_{M8}$  приводных АД M1...M8 и вентиляторов B1...B8 приведены на рис. 4. Они показывают, как должна изменяться их скорость, и как должны функционировать системы ПЧ АД и коммутационная аппаратура (см. рис. 3), чтобы обеспечить стабильность температуры НПО и ее равенство заданной температуре  $T_{НПОЗ}$ . Алгоритм, реализованный в МПСУ, предусматривает последовательное введение в работу приводных АД от M1 до M8 (от B1 до B8) при увеличении температуры НПГ и выведение их из работы при снижении температуры НПГ.

Предложенная схема асинхронного 8-двигательного взаимосвязанного электропривода по системе ПЧ АД, алгоритм регулирования скоростью приводных двигателей и вентиляторов АВО НП и управление и стабилизация температуры охлаждаемого нефтепродукта планируются к использованию на установке по производству нефтепродуктов в ОАО «Саратовский НПЗ».

#### Литература

1. Калинушкин М. П. Насосы и вентиляторы. М.: Высшая школа. 1987.
2. Копырин В. С., Ткачук А. А., Маренич В. А., Патрик А. А. Частотноуправляемый асинхронный отраслевой электропривод / В сб. докл. 10-й науч.-технич. конф. «Электроприводы переменного тока». Екатеринбург: УГТУ. 1995.

3. Копырин В. С., Лихошерст В. И., Соколов М. М. Тормозные режимы системы «преобразователь частоты — двигатель». М.: Энергоатомиздат. 1985.
4. Бакута В. П., Копырин В. С. Асинхронный частотный однодвигательный электропривод охлаждения нефтепродуктов. В сб. докл. 4-й регион. науч.-практ. конф. «Проблемы и достижения в промышленной энергетике». Екатеринбург: Уральские выставки. 2004.
5. Бакута В. П., Бакута Р. В., Копырин В. С. Управление асинхронным частотным однодвигательным электроприводом охладителя нефтепродуктов. В сб. докл. 8-й регион. науч.-практ. конф. «Энергосберегающие техника и технологии». Екатеринбург: Уральские выставки. 2005.
6. Копырин В. С., Бакута В. П. Асинхронный двухдвигательный частотный электропривод вентиляторов охладителя нефтепродуктов // Энергоанализ и энергоэффективность. 2004. № 4, 5.
7. Соколов М. М., Копырин В. С., Шрейдер Я. И., Патрик А. А. Двухдвигательный электропривод насосов, вентиляторов и компрессоров // Электротехника. 1986. № 5.
8. Бакута В. П., Копырин В. С. Асинхронный четырехдвигательный частотный электропривод аппарата воздушного охлаждения нефтепродуктов // Промышленная энергетика. 2005. № 5.
9. Соколов М. М., Копырин В. С., Шрейдер Я. И. А.С. 1376206 (СССР). Многодвигательный электропривод. // БИ 1988. № 7.

