

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПУСКОНАЛАДОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАНЖИРОВАНИЯ РАБОТ

Н.В. Голубцов, О.В. Федоров

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Резюме: На примере тепловой электростанции рассмотрены специфические особенности управления производственным процессом в пусконаладочный период возведения объекта, насыщенного современным высокотехнологичным оборудованием и инженерными системами. Рассмотрен состав затрат времени на пусконаладочные работы и испытания оборудования и инженерных систем. Выполнен анализ особенностей маневрирования трудовыми ресурсами в процессе регулирования хода пусконаладки. Охарактеризована модель влияния возможной численности наладочной бригады на длительность выполнения пусконаладочных работ. Выведены математические зависимости между продолжительностью выполнения пусконаладочных работ и численностью наладочных бригад, включающие коэффициент эффективности использования дополнительного к оптимальному составу количества наладчиков. Предложен и обоснован метод выработки рациональных управленческих решений, предусматривающий ранжирование пусконаладочных работ по их весомости в общей системе наладки. Для этого введено понятие технологических приоритетов, которые учитывают степень технологической зависимости друг от друга функционально-технологических узлов тепловой электростанции во время выполнения пусконаладочных работ. Кроме того, введено понятие динамических приоритетов, учитывающих сложившуюся производственную ситуацию на момент принятия решения по составлению или корректировке календарных и оперативно-производственных планов в пусконаладочный период возведения тепловой электростанции.

Ключевые слова: электростанция, пусконаладочные работы, управление, технологическая весомость, приоритеты, ранжирование

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-11-22

EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE START-UP AND ADJUSTMENT AT THE POWER STATION BY RANKING TASKS

N.V. Golubtsov, O.V. Fedorov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: The specific features of the control of the production process during the commissioning (the start-up and adjustment) of a thermal power plant are considered. The composition of the time spent on start-up and adjustment of modern high-tech equipment and engineering systems is considered. In the article a mathematical relationship between the duration of the start-up and adjustment works and the number of employees in the brigade, including the rate of efficiency in the use of an exceeding the optimum number of employees is described. A method for the development of rational management solutions was proposed and

justified, providing for the ranking of start-up and adjustment works on their weight in the overall system of adjustment. For this purpose, the notion of technological priorities has been introduced, which take into account the degree of technological dependence of functional and technological nodes of the thermal power plant during the start-up and adjustment works. In addition, the concept of dynamic priorities that take into account the existing production situation at the time of making a decision to compile or adjust the calendar and operational and production plans in the commissioning period of the thermal power plant is being built.

Keywords: *electric power station, start-up and adjustment works, management, technological importance, prioritization, ranking*

Эффективный рост экономики в сложных геополитических условиях необходим России для успешного противостояния внутренним и внешним вызовам и угрозам в XXI веке. Экономика нашей страны сможет конкурентно развиваться лишь на основе широкого использования инновационных технологий, оборудования, материалов при условии эффективного потребления всех видов ресурсов. Особенно возрастают требования к качеству трудовых ресурсов, прежде всего – к профессиональной квалификации всех категорий работников и к эффективности использования «живого труда». В условиях продолжающегося развертывания научно-технической революции новые и реконструируемые объекты экономики производственного и социального назначения все более насыщаются современным высокотехнологичным оборудованием и инженерными системами. Отсюда, особое значение приобретает эффективность выполнения тех работ, которые обеспечивают подготовку и ввод смонтированного оборудования в эксплуатацию. Эти работы, согласно ГОСТ Р 56203-2014, называются пусконаладочными работами (далее ПНР). Практика показывает, что при управлении производственным процессом возведения объектов на стадии ПНР, которая является завершающей стадией строительства, имеются специфические особенности, без учета которых невозможно обеспечить надежное и эффективное достижение конечной цели строительства – ввод объекта в эксплуатацию [1]. Согласно ГОСТ Р 57363-2016¹ контроль за ПНР и организацию подготовки объекта к сдаче в эксплуатацию осуществляет Управляющий проектом, который представляет управляющую компанию или непосредственно организацию застройщика (инвестора), а также определяет режим эксплуатации объекта в период индивидуальных и комплексных испытаний инженерных систем, оборудования, их приемки.

Одна из особенностей ПНР – преобладание затрат «живого труда» по сравнению со строительно-монтажными работами (далее СМР), выполняемыми на предыдущих стадиях строительства, – нашла четкое отражение в сборниках государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы (сборники ГЭСНп в редакции 2017 г.). Так, в таблицах ГЭСНп, порядок применения которых определен приказом Минстроя России №1028/пр от 29 декабря 2016 г., в отличие от таблиц сборников государственных элементных сметных норм на строительные и специальные строительные работы (сборники ГЭСН), на ремонтно-строительные работы (сборники ГЭСНр), на монтаж оборудования (сборники ГЭСНм), не приведены ресурсные показатели расхода материальных, энергетических ресурсов, сырья, полуфабрикатов, используемых при проведении ПНР, расхода применяемых механизмов. Таблицы ГЭСНп, учитывая специфические особенности ПНР, содержат нормы расхода лишь трудовых ресурсов: сведения о составе звена (бригады) исполнителей ПНР (количество, специальности

¹ Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика) от 16.12.2016 № 9 2043-ст. // Стандартинформ. 2017 г.

инженерно-технических работников (ИТР) и рабочих); затраты труда отдельных исполнителей ПНР и в целом на звено. Также в ГЭСНп может приводиться квалификационный состав звена (бригады). Таким образом, в пусконаладочный период (далее ПНП) снижается интенсивность потребления материально-технических ресурсов и «овеществление» труда наладчиков происходит не в результате возведения ими строительных конструкций, а в процессе придания уже смонтированному оборудованию новых качеств – способности функционировать в условиях конкретного объекта.

Проанализируем особенности управления производственным процессом в ПНП возведения объектов на примере завершающего этапа строительства (реконструкции, модернизации) тепловой электрической станции (далее ТЭС) как объекта, для которого характерно насыщение большим разнообразием высокотехнологичного оборудования и инженерных систем, требующих наладки. На ТЭС, согласно СТО НОСТРОЙ 234², ПНР проводятся по следующим основным направлениям: а) тепломеханическое оборудование; б) электротехническое оборудование; в) программно-технические средства автоматизированных систем контроля и управления (далее АСУ), в том числе АСУ технологическим процессом (далее АСУ ТП). В качестве основной технологии производства ПНР СТО НОСТРОЙ 234 устанавливает принцип наладки функционально-технологических узлов (далее ФТУ) ТЭС. Производственный процесс возведения ТЭС на заключительном этапе строительства – этапе ПНР, характеризуется повышенной ответственностью управленческих решений с точки зрения их влияния на возможность своевременного успешного достижения конечной цели строительства. Это объясняется разной значимостью одной и той же величины рассогласования хода работ с календарным планом для различных моментов планового периода. Чем ближе срок ввода объекта в эксплуатацию, тем остается меньше времени для устранения рассогласования. В то же время, ПНП характеризуется повышением стохастичности производственного процесса в сравнении с предшествующими периодами строительства ТЭС, поскольку при выполнении ПНР и испытаний оборудования и инженерных систем выявляются брак и дефекты, допущенные на всех предыдущих стадиях строительства любыми из его участников: проектировщиками, строителями, монтажниками, изготовителями оборудования, заказчиками. Поэтому, для завершающей стадии строительства ТЭС могут быть характерны авралы, штурмовщина, нерациональный расход ресурсов. Подчас это становится причиной срыва сроков ввода объекта в эксплуатацию. Подобное положение возможно, если особенности ПНП при строительстве объектов не учитываются в должной мере.

Таким образом, для достижения конечной цели строительства ТЭС в ПНП необходимо выделять и добиваться выполнения промежуточных целей на сравнительно небольших отрезках времени. Эти задачи решаются системой оперативного управления. В настоящее время развитие информационно-вычислительных систем дает возможность эффективно решать задачи оперативного управления в организационных системах [2]. В то же время для оптимизации режимов электроэнергетических систем, для решения вопросов технического диагностирования и получения добротной информации о состоянии энергетического оборудования разрабатываются алгоритмы и методы [3–5], основные положения которых могут быть использованы в решении не только технических, но и организационно-экономических вопросов выполнения ПНР при подготовке ТЭС к эксплуатации. Важно и то, что продолжают оставаться актуальными более ранние разработки исследователей теории управления. Так, в работах М.К. Бабунашвили и его коллег [6] исследованы вопросы формирования оперативных

²Стандарт организации Национальное объединение строителей (СТО НОСТРОЙ) "Пусконаладочные работы. Организация выполнения пусконаладочных работ на тепловых электрических станциях. Общие требования" (Проект. Окончательная редакция) // Комитет по строительству объектов энергетики и электросетевого хозяйства Национального объединения строителей. 2016 г. № 234. Ст. 5.2

управляющих воздействий в организационных системах, заключающихся в перераспределении ресурсов в подсистемах. Опираясь на эти разработки и учитывая специфические особенности ПНР, охарактеризуем возможности повышения эффективности управления ПНР на ТЭС. На рис. 1 показан график, отражающий состав затрат времени на завершающем этапе производственного процесса в разрезе отдельной системы или ФТУ, насыщенного оборудованием, требующим наладки. В отличие от графиков, характеризующих движение организационной системы к цели со скоростью не ниже нулевой [6], на рис. 1 учтена специфика ПНР и испытаний как работ, завершающих технологическую последовательность производственного процесса строительства. Показана возможность ситуации появления незапланированных в календарном плане ПНР работ, что означает признание возможной скорости движения подсистемы к цели не только равной нулю (прямая 1–2, параллельная оси абсцисс), но и условно отрицательной скорости (прямая 1–3). Считаем, что потери времени, допущенные по организационным причинам (разрыв между окончанием ПНР и началом испытаний, между выявлением дефекта и началом работ по его устранению и т.п.), входят в соответствующие слагаемые выражения (1), и потому они не выделены в нём отдельно.

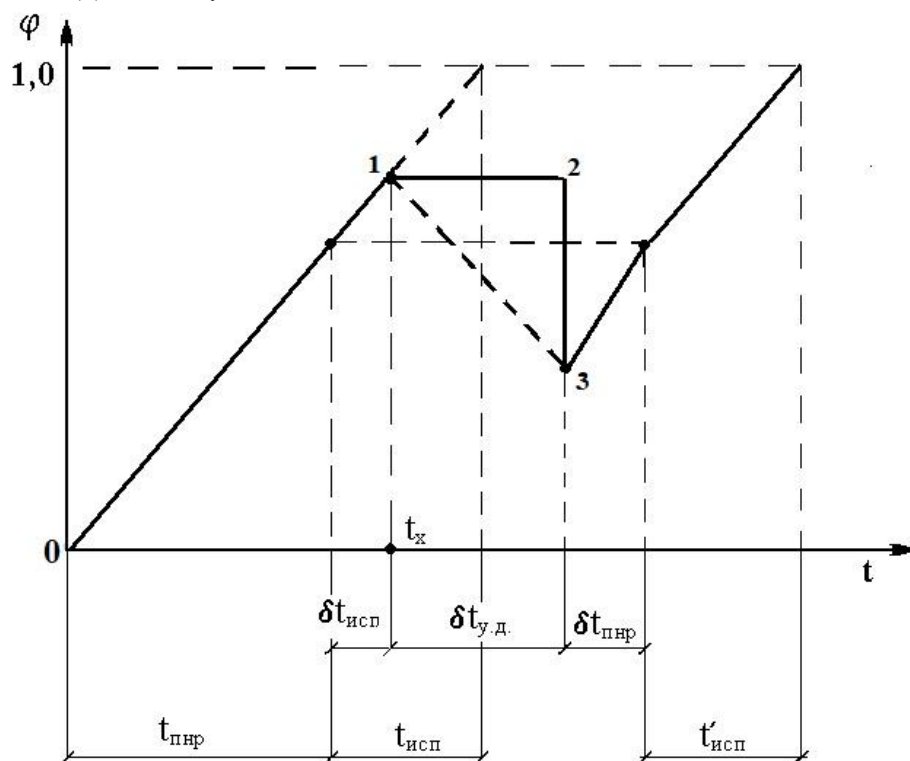


Рис. 1. Состав затрат времени на пусконаладочные работы и испытания по отдельной системе или ФТУ объекта $t_{\text{ПНР}}$ – время на пусконаладку; $t_{\text{исп}}$ – продолжительность испытаний, предусмотренных программой; $\delta t_{\text{исп}}$ – длительность испытаний до выявления дефекта (потери времени на сорванные испытания); t_x – время выявления дефекта; $\delta t_{\text{у.д.}}$ – затраты времени на устранение дефекта; $t'_{\text{исп}}$ – продолжительность повторных испытаний; ϕ – доля выполненных ПНР

Отсюда, общие размеры потерь времени $\delta t_{\text{пот}}$, связанных с допущенным браком, можно определить по формуле

$$\delta t_{\text{пот}} = \delta t_{\text{исп}} + \delta t_{\text{у.д.}} + \delta t_{\text{пнр}} . \quad (1)$$

Своевременная ликвидация дефектов (проекта, СМР, оборудования) – это, по сути, устранение возмущающих воздействий на ход ПНР. Но полностью устранить все возмущающие воздействия и реализовать в чистом виде метод регулирования хода пуска наладочного производственного процесса по возмущениям невозможно. Целесообразно иметь и использовать в управлении рациональные методы регулирования по отклонениям.

Известно, что в практике строительства отклонения хода работ от графика устраняются, как правило, путем переброски дополнительных ресурсов (технических, материальных, трудовых) на работы критического пути. Но, как отмечено выше, в ПНП могут эффективно использоваться для регулирования хода работ лишь трудовые ресурсы. В то же время, использование трудовых ресурсов для регулирования хода работ в ПНП имеет ограничения по следующим причинам: во-первых, количество рабочих мест для персонала наладчиков ограничено в большей степени, чем в предшествующие ПНП периоды СМР. Например, если комплектное распределительное устройство (далее КРУ) электростанции состоит из десятков шкафов или блоков, то это не даёт возможности на каждый шкаф поставить по наладчику, так как наладка КРУ должна осуществляться в комплексе; во-вторых, взаимозаменяемость наладчиков относительно слаба в связи с усилением их специализации, что обусловлено возрастающими требованиями к квалификации персонала по причине усложнения современного оборудования и технологических процессов, появления новых функций АСУ ТП, ускорением динамики технологических изменений в выработке электроэнергии на ТЭС, изменением самой технологии выполнения ПНР [7]; в-третьих, и это характерно именно для ПНП: возможность организации сменной работы для наладчиков затруднена, так как сменщик во многих случаях сможет выполнять ПНР во вторую смену лишь после того, как проанализирует сделанное в первую смену его предшественником. Затраты же времени на такой анализ при сложной наладке могут быть соизмеримы с продолжительностью самой смены.

С учётом перечисленных особенностей ПНП при возведении ТЭС нами разработана методика оперативного управления пусконаладочным процессом. Очевидно, что завершение ПНР на каждом ФТУ не должно считаться самостоятельной задачей вне связи с конечной целью строительства ТЭС – её своевременным вводом в эксплуатацию. Отметим, что срыв сроков выполнения работ на разных ФТУ не одинаково влияет на возможность соблюдения календарного плана всего комплекса работ, выполняемого на завершающем этапе строительства ТЭС. Причина – наличие сложных технологических зависимостей между ФТУ. Разработанная методика содержит алгоритм выработки оперативных управленческих решений на основе системы приоритетов. Принцип использования приоритетов: предпочтение отдаётся тем управленческим решениям при их вариантной проработке, которые обеспечивают более высокую надёжность выполнения ПНР на ФТУ с более высокими приоритетами [8].

Для реализации этого принципа все ФТУ ТЭС ранжируются по признаку степени технологической зависимости друг от друга выполняемых на них ПНР. В связи с этим, введено понятие технологической весомости ФТУ. Для ранжирования ФТУ по их технологической весомости применён метод, известный как метод расстановки приоритетов [9]. В его основе лежит матрица парных сравнений ранжируемых ФТУ и расчёт относительной величины технологических приоритетов путём итераций. Расчёт выполняется на компьютере с применением разработанных с участием авторов статьи программ, зарегистрированных в Реестре программ для ЭВМ: «Выбор рациональных управленческих решений по приоритетам» №2012613123 от 30.03.2012 и «Остаточный ресурс электротехнических комплексов и систем» №2012660206 от 14.11.2012. Величину технологических приоритетов, согласно разработанной методике, следует учитывать при составлении календарных и оперативно-производственных планов для определения

степени напряжённости работ, количества выделяемых резервов ресурсов и др.

В процессе же выполнения ПНР алгоритм предписывает формировать регулирующие воздействия в зависимости не только от значений технологических приоритетов ФТУ (значит и приоритетов выполняемых на них ПНР), но и от сложившейся производственной ситуации, которую предлагается характеризовать коэффициентом динамической напряжённости работ. Этот коэффициент рассчитывается как отношение необходимого (расчётного) для выполнения всего объёма ПНР времени к времени, оставшемуся до планового срока её окончания. Для корректного сопоставления производственной ситуации и технологической весомости ПНР, характеризуемой технологическими приоритетами, введено понятие «динамические приоритеты работ», которые определяются величиной коэффициентов напряжённости этих работ. Таким образом, в любой момент времени все ПНР могут быть ранжированы с определением численной величины их общего приоритета, получаемого на основе значений технологических и динамических приоритетов.

Если не принимать во внимание рассмотренную выше склонность ПНР к быстрому насыщению фронта работ рабочей силой, то продолжительность t выполнения ПНР на ФТУ можно рассчитывать по следующей формуле:

$$t = \frac{W}{A}, \quad (2)$$

где W – трудоёмкость выполнения ПНР на ФТУ; A – количество человек, участвующих в выполнении ПНР.

В этом случае возможность влияния на скорость пусконаладки ФТУ в процессе регулирования хода работ ограничивалась бы только располагаемой численностью наладчиков. Но ясно без доказательств, что сроки пусконаладки не могут быть меньше длительности испытаний оборудования, предписанных нормами и программой, и потому линия $t=0$ (рис. 2) не может быть горизонтальной асимптотой графика зависимости $t = f(A)$, следовательно, формула (2) не отражает эту зависимость.

Преобразуем формулу (2), выделив отдельно длительность испытаний:

$$t = \frac{W'}{A} + t_{\text{исп}}, \quad (3)$$

где W' – трудоёмкость ПНР на ФТУ без учёта трудоёмкости испытаний; $t_{\text{исп}}$ – длительность испытаний оборудования и систем ФТУ.

Проанализируем формулу (3) применительно к отдельному ФТУ. Выше было отмечено, что трудоёмкость ПНР зависит от качества предшествующих работ, в том числе качества проектной документации, качества оборудования: чем ниже качество, тем сложнее регулировки, больше затраты времени. Поэтому на этапе планирования речь должна идти о расчётной трудоёмкости ПНР, определяемой по формуле

$$W_{\text{расч.}i} = A_{\text{опт.}i} \cdot t_{\text{расч.}i}, \quad (4)$$

где $A_{\text{опт.}i}$ – оптимальная численность наладчиков для выполнения ПНР на i -м ФТУ; $t_{\text{расч.}i}$ – расчётная продолжительность выполнения ПНР на i -м ФТУ при оптимальной численности наладочной бригады (звена) и без учёта продолжительности испытаний.

Отсюда, из выражений (3) и (4) имеем:

$$t_{\text{опт.}i} = t_{\text{расч.}i} + t_{\text{исп.}i} = \frac{W_{\text{расч.}i}}{A_{\text{опт.}i}} + t_{\text{исп.}i}, \quad (5)$$

где $t_{\text{опт.}i}$ – оптимальный срок выполнения ПНР и испытаний на i -м ФТУ; $t_{\text{исп.}i}$ – длительность испытания оборудования и систем i -го ФТУ.

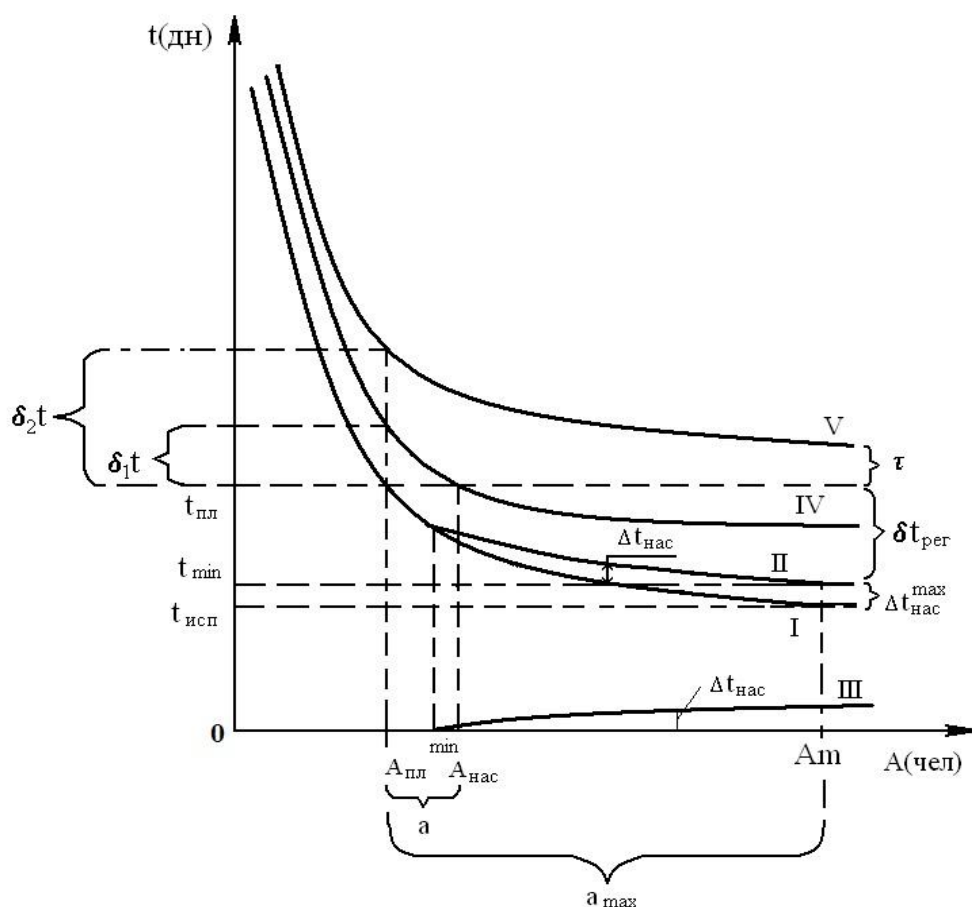


Рис. 2. Зависимость длительности ПНР t от численности наладчиков A

В случае необходимости сократить срок выполнения работ на i -м ФТУ при регулировании хода ПНР следует увеличить численность бригады на a_i человек. В этом случае длительность выполнения ПНР t_i на i -м ФТУ будет определяться по формуле

$$t_i = \frac{W_{\text{расч.}i}}{A_{\text{шт.}i} + a_i} + t_{\text{исп.}i} \quad (6)$$

Зависимость (6) будем рассматривать в виде: $t_i = f(A_i)$, где $A_i = A_{\text{пт.}i} + a_i$. Графиком данной зависимости является гипербола I (рис. 2) с горизонтальной асимптотой $t = t_{\text{исп.}}$. Но и этот график не отражает реальную зависимость $t = f(A)$, т.к. он не учитывает эффект насыщения фронта работ рабочей силы. С учётом же насыщения зависимость (6) можно заменить следующей:

$$t'_i = \frac{W_{\text{расч.}i}}{A_{\text{опт.}i} + a_i} + t_{\text{исп.}i} + \Delta t_{\text{нас.}}. \quad (7)$$

где t'_i - общая продолжительность ПНР и испытаний на i -м ФТУ с учётом насыщения фронта работ наладчиками; $\Delta t_{\text{нас.}}$ - добавка к расчётной длительности выполнения ПНР, вызываемая эффектом насыщения.

Графиком зависимости (7) в осях $A-t$, где $A = A_{\text{опт.}} + a$, является кривая II. Но сама величина $\Delta t_{\text{нас.}}$ также зависит от численности A наладчиков:

$$\Delta t_{\text{нас.}} = \gamma(A), \quad (8)$$

где γ – вид зависимости, определяемый видом работ и условиями их выполнения (на рис. 2 показан кривой III).

Для анализа возможностей результативного маневрирования численностью наладчиков A на рис. 2 представлены графики I, II и III зависимостей (6), (7) и (8) соответственно. Из рис. 2 видно, что для выполнения ПНР в плановый срок потребуются плановое количество наладчиков $A_{\text{пл.}}$. При увеличении же численности наладчиков сверх плановой на a человек сроки наладки будут уменьшаться, асимптотически приближаясь к минимальному сроку $t_{\text{мин}}$. Начиная с некоторой численности наладчиков $A_{\text{нас.}}^{\text{мин}}$, будет появляться эффект насыщения. При достаточно близком приближении графика II зависимости (7) к асимптоте $t = t_{\text{мин}}$, например, на расстояние 1 час (наименьший предел оперативного регулирования) наступает предел насыщения, при котором численность $A_{\text{пл}}$ наладчиков является наибольшей для регулирования величиной. Очевидно, численность наладчиков $A_{\text{нас.}}^{\text{мин}}$, с превышением которой начнёт проявляться эффект насыщения, будет определяться видом ПНР.

В процессе проведения исследований были получены данные об оптимальной численности наладочных бригад $A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}}$ для типовых наборов работ по наладке отдельных видов электрооборудования и систем автоматики, а также сроки выполнения этих работ бригадами (звеньями) различной численности. Полагаем, что трудоёмкость W выполнения работ бригадой оптимальной численности следует считать оптимальной трудоёмкостью:

$$W_{\text{опт.}i} = A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}} \cdot t_{\text{опт.}i}, \quad (9)$$

где $W_{\text{опт.}i}$ – оптимальная (расчётная) трудоёмкость i -й работы; $t_{\text{опт.}i}$ – срок выполнения i -й работы бригадой оптимальной численности.

Важно отметить, что оптимальная трудоёмкость не всегда является минимальной, поскольку при выполнении ряда наладочных операций включение в состав звена дополнительного работника объясняется не соображениями эффективного использования труда наладчиков, а требованиями техники безопасности [10]. Таким образом, результатом форсирования при необходимости хода ПНР будет сокращение сроков выполнения работ – непропорциональное, в ряде случаев, увеличению численности наладчиков. Это приведёт к снижению производительности труда на регулируемых работах. Но снижение эффективности использования наладчиков на отдельных ФТУ, тем не менее, может быть целесообразным в конкретной производственной ситуации, вызывая положительный эффект синергии в масштабе вводимой в эксплуатацию ТЭС.

Для оценки допустимых пределов регулирующих воздействий и выполнения расчётов потребности наладчиков введём коэффициент η эффективности использования дополнительных работников при регулировании ПНР. Для его определения величину объёма каждой i -й ПНР будем измерять её оптимальной трудоёмкостью $W_{\text{опт.}i}$. Тогда при выполнении всего объёма $W_{\text{опт.}i}$ i -й ПНР бригадой наладчиков численностью $A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}} + a$ за время $t_{\text{мин.}i}$ справедливо следующее равенство:

$$t_{\text{мин.}i} (A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}} + \eta_i a) = W_{\text{опт.}i}, \quad (10)$$

где трудоёмкость ПНР при оптимальной численности наладчиков $W_{\text{опт.}i}$ определяется

выражением (9).

На основании выражений (9) и (10) имеем:

$$\eta_i = \frac{A_{\text{бр.}i}^{\text{опт}}(t_{\text{опт.}i} - t_{\text{min.}i})}{a \cdot t_{\text{min.}i}}. \quad (11)$$

По формуле (11) был выполнен расчет значений коэффициента η для различных типовых наборов ПНР с целью их использования в решении задач оперативного управления производственным процессом на завершающем этапе строительства ТЭС.

Метод расстановки приоритетов, согласно [11], даёт возможность не только ранжировать работы по определённом признаку, но и оценить количественно соотношение весомостей ПНР, выполняемых на разных ФТУ ТЭС, относительно выбранного критерия. Выбор критерия для определения степени выраженности признака, по которому осуществляется ранжирование ФТУ, представляет собой сложную и ответственную задачу. Для её решения при разработке методики оперативного управления ПНР мы исходили из того, что ранжирование ФТУ, в конечном итоге, имеет предназначение повысить устойчивость календарного плана работ на завершающем этапе строительства ТЭС. Устойчивость календарного плана может обеспечиваться: а) резервами времени для компенсации отрицательного воздействия на ход производства случайных факторов; б) резервами ресурсов (для ПНР, главным образом, трудовых), с помощью которых можно при необходимости форсировать выполнение тех или иных работ.

Рассмотрим взаимосвязь этих двух видов резервов как факторов устойчивости календарного плана работ. Заметим, что быстротечность ПНР обуславливает то, что работы, не лежащие на критическом пути, могут иметь резервы времени, главным образом, в пределах нескольких дней. Причём эти резервы времени соизмеримы с вероятными простоями вследствие выявления в процессе наладки и испытаний дефектов, допущенных на предыдущих этапах строительства ТЭС. Таким образом, в календарном плане работ завершающего этапа строительства ТЭС вероятно появление некоторого количества околोकритических путей. Отсюда, важное значение приобретает вопрос учета, оценки и использования резервов времени.

Покажем, что один и тот же резерв времени для разных работ может иметь разный вес с точки зрения влияния на устойчивость календарного плана работ. Так, можно утверждать, что при равенстве резервов времени i -й и j -й работ, т.е. $t_{\text{рез.}i} = t_{\text{рез.}j}$, тем не менее, вес величины $t_{\text{рез.}i}$ может быть больше веса величины $t_{\text{рез.}j}$: $P(t_{\text{рез.}i}) > P(t_{\text{рез.}j})$.

Это утверждение будет справедливо, когда возможность насыщения фронта i -й работы наладчиками за счёт увеличения их численности, в том числе и при организации сменной работы, будет выше, чем для j -й работы. Отсюда следует, что ранжирование ФТУ ТЭС целесообразно проводить с ориентацией их приоритетов не только на резервы времени, выделяемые в календарном плане работ, а и на резервы трудовых ресурсов, которыми располагает пусконаладочная организация. При этом следует учитывать ограничения, связанные с эффектом насыщения фронта работ (рис. 2). Для того, чтобы учесть оба вида резервов (времени и трудовых ресурсов) в одном показателе, введено понятие резерва трудоёмкости. Под расчётным резервом трудоёмкости $W_{\text{рез.}i}^{\text{расч.}}$ i -й работы в рассматриваемой методике понимается трудоёмкость, определяемая по формуле

$$W_{\text{рез.}i}^{\text{расч.}} = t_{\text{рез.}i}(A_{\text{расч.}i} + \eta_i a_{mi}) + \eta_i a_{mi} t_{\text{опт.}i} = A_{\text{расч.}i} t_{\text{рез.}i} + \eta_i a_{mi} (t_{\text{опт.}i} + t_{\text{рез.}i}), \quad (12)$$

где $t_{\text{опт.}i}$ – продолжительность выполнения i -й работы с расчётной скоростью, т.е. при оптимальной численности наладчиков: $t_{\text{расч.}i} = t_{\text{опт.}i}$; $t_{\text{рез.}i}$ – свободный резерв времени

i -й работы; $A_{\text{расч.}i}$ – расчётная (оптимальная) численность наладчиков для i -й работы, т.е. $A_{\text{расч.}i} = A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}}$; a_{mi} – максимально возможная по условиям насыщения и организации сменной работы дополнительная сверх расчётной (оптимальной) численность наладчиков для i -й работы; η_i – коэффициент эффективности использования трудовых ресурсов, дополнительно привлекаемых к выполнению i -й работы. Величину a_{mi} можно определить по формуле

$$a_{mi} = A_{mi} - A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}}, \quad (13)$$

где A_{mi} – максимально возможная численность наладочной бригады для выполнения i -й пусконаладочной работы.

В случае если по условиям располагаемого времени необходимо запланировать продолжительность выполнения i -й работы $t_{\text{пл.}i} < t_{\text{расч.}i}$, то и плановую численность бригады наладчиков $A_{\text{пл.}i}$ придётся принять больше оптимальной численности $A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}}$, т.е. $A_{\text{пл.}i} > A_{\text{бр.}i}^{\text{опт.}}$. Но тогда величина возможных регулирующих воздействий в ходе работ сокращается, что характеризуется уменьшением резерва по трудоёмкости. По аналогии с выражением (12) плановый резерв по трудоёмкости можно определить по следующей формуле:

$$W_{\text{рез.}i}^{\text{пл.}} = t_{\text{рез.}i} (A_{\text{пл.}i} + \eta_i a'_{mi}) + \eta_i a'_{mi} t_{\text{пл.}i} = A_{\text{пл.}i} t_{\text{рез.}i} + \eta_i a'_{mi} (t_{\text{пл.}i} + t_{\text{рез.}i}), \quad (14)$$

где $A_{\text{пл.}i}$ – плановая численность наладочной бригады для выполнения i -й работы; $t_{\text{пл.}i}$ – продолжительность выполнения i -й работы с плановой скоростью; a'_{mi} – максимально возможная по условиям насыщения и организации сменной работы дополнительная сверх плановой численность наладчиков для выполнения i -й работы, т.е. $a'_{mi} = A_{mi} - A_{\text{пл.}i}$.

Если же организация имеет ограниченные возможности маневрирования трудовыми ресурсами и не сможет обеспечить при необходимости насыщение фронта работ наладчиками, то это, соответственно, должно быть учтено при определении расчётной величины a'_{mi} в формуле (14).

Таким образом, в состав исходных данных для разработки календарного плана производства ПНР на завершающей стадии строительства ТЭС должны входить значения перечисленных величин, которые используются для расчёта резерва трудоёмкости $W_{\text{рез.}i}$ ПНР.

Применение метода, предусматривающего ранжирование ПНР по технологическим и динамическим приоритетам, позволяет обеспечить повышение эффективности управления пусконаладочным процессом при подготовке ТЭС к сдаче в эксплуатацию. Представленная в статье методика может быть, по нашему мнению, использована в управлении производственными процессами завершающей стадии возведения не только ТЭС, но и других объектов, насыщенных современным высокотехнологичным оборудованием. Методика даст возможность руководителям генподрядных, субподрядных и наладочных организаций повысить качество анализа, обоснованность планирования и повысить эффективность регулирующих воздействий на уровнях оперативного управления производственными процессами.

Литература

1. Голубцов Н.В., Комышанов О.П. Рационализация оперативного управления пусконаладочными работами на строящихся тепловых электростанциях // Новые технологии. 2008. № 6. С. 30–36.

2. Хорошев Н.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений при эксплуатации энергетического оборудования на основе адаптивного кластерного анализа // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3 (31). С. 123–128.
3. Лежнюк П.Д., Нагул В.И., Нетребский В.В. Метод та алгоритм оптимального керування режимами ЕЕС на підставі принципу найменшої дії // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. № 3 (102). С. 85–88.
4. Павелко В.И., Слепов М.Т., Хайретдинов В.У. Опыт проведения комплексных измерений с использованием разнородных систем на различных этапах пуска энергоблока ВВЭР-1200 // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2016. № 4. С. 44–54.
5. Дунаев М.П., Дунаев А.М. Разработка экспертной системы для наладки преобразователя частоты // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 12 (83). С. 263–270.
6. Бабунашвили М.К., Бермант М.А., Руссман И.Б. Оперативное управление в организационных системах // Экономика и математические методы. 1971. Том.VII, вып. 3. С. 377–388.
7. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. 2010. № 3. С. 121–126.
8. Marshirov V.V., Marshirova L.E. Methods of configuring the decision-making system when choosing and supporting an entity development strategy // Business Informatics. 2015. №4 (34). Pp. 47–54.
9. Коптелова И.А., Арванитакис Н.В. Теория принятия решений в задачах повышения энергоэффективности систем энергоснабжения // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2016. № 2(14). С. 35–40.
10. Власов В.А., Карпов А.Е., Копаница Д.Г., Ласковенко А.Г., Ласковенко Г.А. К вопросу о моделировании жизненного цикла зданий и сооружений повышенной ответственности на основе процессного метода // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5(58). С. 161–166.
11. Дорошенко В.А., Друк Л.В., Герасимов А.Э. Математическое описание взаимовлияния технических средств распределенных по уровням систем управления с обратными связями // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 1. С. 118–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-118-124.

Авторы публикации

Голубцов Николай Владимирович – канд. техн. наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Фёдоров Олег Васильевич – д-р техн. наук, профессор Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

References

1. Golubtsov N.V., Komyshanov O.P. Ratsionalizatsiya operativnogo upravleniya puskonladochnymi rabotami na stroyashchikhsya teplovykh elektrostantsiyakh // Novye tekhnologii. 2008. № 6. S. 30–36.
2. Khoroshev N.I. Intellektual'naya podderzhka prinyatiya reshenii pri ekspluatatsii energeticheskogo oborudovaniya na osnove adaptivnogo klasternogo analiza // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2016. № 3 (31). S. 123–128.
3. Lezhnyuk P.D., Nagul V.I., Netrebs'kii V.V. Metod ta algoritm optimal'nogo keruvannya rezhimami EES na pidstavi printsipu naimenshoi dii // Visnik Vinnits'kogo politekhnichnogo institutu. 2012. № 3 (102). S. 85–88.

4. Pavelko V.I., Slepov M.T., Khairtdinov V.U. Opyt provedeniya kompleksnykh izmerenii s ispol'zovaniem raznorodnykh sistem na razlichnykh etapakh puska energobloka VVER-1200 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Yadernaya energetika. 2016. № 4. S. 44–54.

5. Dunaev M.P., Dunaev A.M. Razrabotka ekspertnoi sistemy dlya naladki preobrazovatelya chastoty // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. № 12 (83). S. 263–270.

6. Babunashvili M.K., Bermant M.A., Russman I.B. Operativnoe upravlenie v organizatsionnykh sistemakh // Ekonomika i matematicheskie metody. 1971. Tom.VII, vyp. 3. S. 377–388.

7. Golubtsov N.V. Upravlenie innovatsiyami v energetike: problema podgotovki kadrov // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2010. № 3. S. 121–126.

8. Marshirov V.V., Marshirova L.E. Methods of configuring the decision-making system when choosing and supporting an entity development strategy // Business Informatics. 2015. №4 (34). Pp. 47–54.

9. Koptelova I.A., Arvanitaki N.V. Teoriya prinyatiya reshenii v zadachakh povysheniya energoeffektivnosti sistem energosnabzheniya // Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport. 2016. № 2(14). S. 35–40.

10. Vlasov V.A., Karpov A.E., Kopanitsa D.G., Laskovenko A.G., Laskovenko G.A. K voprosu o modelirovanii zhiznennogo tsikla zdaniy i sooruzheniy povyshennoi otvetstvennosti na osnove protsessnogo metoda // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 5(58). S. 161–166.

11. Doroshenko V.A., Druk L.V., Gerasimov A.E. Matematicheskoe opisanie vzaimovliyaniya tekhnicheskikh sredstv raspredelennykh po urovnym sistem upravleniya s obratnymi svyaziyami // Lesnoi vestnik / Forestry Bulletin. 2017. T. 21. № 1. S. 118–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-118-124.

Authors of the publication

Nikolay V. Golubtsov – cand. sci. (techn.), associate professor, Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev.

Oleg V. Fedorov – dr. sci. (techn.), professor, Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev.

Поступила в редакцию

17 сентября 2017 года.