УДК 004.02, 658-588 EDN XKKDXD
https://www.doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3010

Оценка выполнимости плановых и внеплановых работ ТОиР при ресурсных и временно-технологических ограничениях

М.А. Насонов*

Группа компаний Синтез ОКА, Портовое шоссе, дом 1Б, корпус 2, помещение 9, г. Дзержинск, 606000, Россия

*E-mail: ma.nasonov@sintez-oka.ru

Аннотация. Рассматривается задача оценки выполнимости совокупности плановых и внеплановых работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования промышленного предприятия. Под внеплановыми понимаются работы, отсутствовавшие в исходном календарном плане ППР и сформированные по результатам оценки фактического технического состояния оборудования. Показано, что сопоставление суммарной трудоемкости работ с располагаемым фондом времени ремонтных бригад является необходимым, но недостаточным условием оценки выполнимости ремонтной программы. Фактическая возможность запуска и завершения работ определяется также временными ограничениями и наличием технологических окон, в течение которых оборудование доступно для проведения соответствующих воздействий. Для исследования использован вычислительный эксперимент с четырьмя сценариями прохождения смешанного потока плановых и внеплановых заданий в течение месячного горизонта. Во всех сценариях суммарная трудоемкость работ не превышала располагаемый фонд времени ремонтных бригад, однако наблюдались отсрочки запуска, переносы и накопление заданий, выходящих за рекомендуемые сроки. Установлено, что существенная часть отклонений обусловлена не дефицитом суммарного ресурса, а рассогласованием временной доступности работ и технологических окон. Полученные результаты обосновывают необходимость дополнения традиционной ресурсной оценки ремонтной программы анализом временно-технологической выполнимости отдельных заданий.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, ППР, выполнимость, плановые работы, внеплановые работы, технологические окна, ремонтные ресурсы, управление потоком работ.

Для цитирования: Насонов, М. А. Оценка выполнимости плановых и внеплановых работ ТОиР при ресурсных и временно-технологических ограничениях / М. А. Насонов // Модернизация, Инновации, Прогресс (MIP ENGINEERING-VII-2026): материалы VII Всероссийской (национальной) научной конференции (Красноярск, 11–12 сентября 2026 г.). – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2026. – Т. 20. – С. 81-91. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3010. – EDN: XKKDXD.

Feasibility assessment of scheduled and unscheduled maintenance and repair work under resource, time, and technological constraints

M.A. Nasonov*

Group of Companies, Portovoe Shosse, Building 1B, Block 2, Room 9, Dzerzhinsk, 606000, Russia

*E-mail: ma.nasonov@sintez-oka.ru

Abstract. The paper addresses the problem of assessing the feasibility of a combined set of scheduled and unscheduled maintenance and repair work for industrial equipment. Unscheduled work is defined as maintenance and repair work that was not included in the initial planned preventive maintenance schedule and was generated based on an assessment of the actual technical condition of the equipment. It is shown that comparing the total labor requirements of the maintenance program with the available working-time capacity of maintenance crews is a necessary but insufficient condition for assessing its feasibility. The actual ability to start and complete individual tasks is also determined by time constraints and the availability of maintenance windows during which the equipment is accessible for the required maintenance or repair activities. A computational experiment involving four scenarios was conducted to investigate the execution of a mixed flow of scheduled and unscheduled maintenance tasks over a one-month planning horizon. In all scenarios, the total labor requirements did not exceed the available working-time capacity of the maintenance crews; nevertheless, delayed starts, task carryovers, and an accumulation of tasks exceeding their recommended start dates were observed. The results show that a substantial proportion of these deviations is caused not by an overall shortage of maintenance resources, but by a mismatch between the temporal availability of individual tasks and the available maintenance windows. The findings substantiate the need to supplement conventional resource-based assessment of maintenance programs with an analysis of the time and technological feasibility of individual maintenance tasks.

Keywords: maintenance and repair, planned preventive maintenance, feasibility, scheduled work, unscheduled work, maintenance windows, maintenance resources, work-flow management.

For citation: Nasonov, M. A. Feasibility assessment of scheduled and unscheduled maintenance and repair work under resource, time, and technological constraints / M. A. Nasonov // Modernization, Innovations, Progress (MIP ENGINEERING-VII-2026): Proceedings of the VII All-Russian (National) Scientific Conference (Krasnoyarsk, September 11–12, 2026). – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations, 2026. – Vol. 20. – P. 81-91. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3010. – EDN: XKKDXD.

1. Введение

Планирование технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования промышленного предприятия [1] традиционно основывается на сопоставлении планового объема работ с располагаемыми ремонтными ресурсами [2]. При формировании месячной программы ТОиР оценивается трудоемкость предусмотренных планом работ, определяется фонд рабочего времени исполнителей и проверяется возможность выполнения сформированного объема в пределах рассматриваемого периода [3, 4]. Такой подход в достаточной степени соответствует относительно стабильному потоку плановых работ. Однако в процессе эксплуатации оборудования исходная ремонтная программа дополняется работами, необходимость которых выявляется по результатам осмотров, диагностики и оценки фактического технического состояния [5]. Возникает смешанный поток работ, включающий как предусмотренные календарным планом ППР задания, так и работы, отсутствовавшие в исходном плане. Здесь под внеплановыми работами понимаются работы ТОиР, не входившие в исходный календарный план ППР и сформированные по результатам осмотров оборудования и оценки его технического состояния. Такое определение не предполагает обязательного отнесения этих работ к аварийным.

Появление внеплановых работ изменяет не только суммарную загрузку ремонтных бригад [6]. Каждое задание характеризуется собственным допустимым интервалом выполнения, а часть ремонтных воздействий может быть проведена только при наличии технологического окна или останова оборудования. В результате возникает ситуация, при которой суммарный фонд времени ремонтных бригад достаточен для выполнения всего объема работ, однако отдельные задания не могут быть запущены в требуемые сроки.

Таким образом, интегральное соотношение трудоемкости программы и располагаемого фонда времени не позволяет в полной мере оценить ее фактическую выполнимость. Требуется учитывать временную структуру потока работ и технологические условия их допуска к исполнению.

Цель исследования состоит в оценке влияния ресурсных и временно-технологических ограничений на выполнимость совокупности плановых и внеплановых работ ТОиР и выявлении причин возникновения отсрочек, переносов работ и незавершенных заданий при формально достаточном суммарном фонде времени ремонтных бригад.

2. Постановка задачи оценки выполнимости работ ТОиР

В процессе эксплуатации промышленного оборудования задания по ТОиР, сформированные по результатам оценки состояния оборудования, объединялись с заданиями исходного плана ППР и далее рассматривались как единый поток работ:

$$J = J^{pl} \cup J^{np} \quad (1)$$

где J – множество работ ТОиР на рассматриваемом горизонте планирования; J^{pl} – множество плановых работ; J^{np} – множество внеплановых работ.

Каждое задание $j \in J$ характеризуется трудоемкостью p_j, условиями допустимости его выполнения во времени и, при необходимости, требованием наличия технологического окна или останова оборудования. Поэтому возможность выполнения сформированного потока определяется одновременно двумя группами ограничений: доступным фондом времени ремонтных бригад и временно-технологическими условиями выполнения отдельных работ. На агрегированном уровне ресурсная обеспеченность программы может быть оценена путем сопоставления ее суммарной трудоемкости с располагаемым фондом времени ремонтных бригад:

$$\sum_{j \in J} p_j \le F_H \quad (2)$$

где F_H – располагаемый фонд времени ремонтных бригад на горизонте планирования H.

Условие (2) является необходимым для выполнения сформированной программы, однако характеризует только ее обеспеченность суммарным ресурсом. Оно не учитывает того, могут ли отдельные работы быть фактически размещены во времени. Для промышленного оборудования это существенно, поскольку часть ремонтных воздействий может выполняться только при наступлении допустимой даты и наличии технологического окна, в течение которого соответствующий объект доступен для проведения работ. В экспериментальной постановке именно календарная доступность остановов рассматривалась как самостоятельный фактор, влияющий на сроки запуска и фактическое выполнение работ.

Для описания этих условий введем бинарные показатели:

$A_j(t)$ – временная допустимость выполнения задания j в момент t;

$R_j(t)$ – доступность необходимого ремонтного ресурса;

$W_j(t)$ – технологическая доступность оборудования для выполнения задания.

Показатели принимают значение 1 при выполнении соответствующего условия и 0 – при его невыполнении. Для работы, не требующей специального технологического окна, принимается $W_j(t)=1$ в пределах ее допустимого периода выполнения.

Тогда фактическая выполнимость *J* на горизонте *H* требует совместного выполнения двух условий:

$$\left(\sum_{j\in J} p_j \le F_H\right) \wedge \left[\forall j \in J\, \exists t \in H : A_j(t)R_j(t)W_j(t)=1\right], \qquad (3)$$

Первое условие в выражении (3) характеризует ресурсную обеспеченность программы: суммарный объем работ может быть покрыт располагаемым фондом времени ремонтных бригад. Второе условие характеризует временно-технологическую выполнимость, где для каждого задания *j*, в пределах горизонта *H* должен существовать хотя бы один допустимый момент *t*, в котором одновременно обеспечиваются временная допустимость задания, наличие ремонтного ресурса и технологическая доступность оборудования. Произведение

$$A_j(t)R_j(t)W_j(t)=1$$

при бинарных значениях показателей возможно только в том случае, если все три условия одновременно принимают значение 1.

Для многодневных работ под существованием допустимого момента *t* понимается возможность выполнения работы требуемой продолжительности начиная с этого момента, в том числе при необходимости переноса рабочих периодов.

Таким образом, выполнение только ресурсного условия (2) еще не позволяет сделать вывод о фактической выполнимости всей программы. Положительный баланс суммарной трудоемкости и фонда времени является необходимым, но недостаточным условием: необходимо также обеспечить временную и технологическую допустимость выполнения каждого задания.

Исходя из этого, задача исследования состоит в оценке фактической выполнимости смешанного потока плановых и внеплановых работ ТОиР при совместном действии двух групп ограничений – фонда времени ремонтных бригад и существующих технологических окон, а также в выявлении причин возникновения отсрочек, переносов и незавершенного остатка.

В вычислительном эксперименте данное положение проверяется в условиях, когда суммарная трудоемкость входного потока во всех рассматриваемых сценариях остается ниже располагаемого фонда времени. Благодаря этому возникающие отклонения можно

анализировать не только как следствие общего ресурсного дефицита, но и с позиции временно-технологической структуры выполнимости работ.

3. Исходные данные и методика вычислительного эксперимента

Вычислительный эксперимент проводился на месячном горизонте планирования. В качестве входных данных использовался смешанный поток плановых и внеплановых работ ТОиР. Плановая составляющая формировалась на основе месячного плана ППР, внеплановая – из заданий, сформированных по результатам оценки технического состояния оборудования. В эксперименте для всех сценариев использовался один и тот же набор из 57 внеплановых заданий общей трудоемкостью 376 чел/ч.

Для исследования были сформированы четыре сценария S1–S4, различавшиеся объемом входного потока и условиями его прохождения в течение расчетного периода. Число плановых работ последовательно увеличивалось от 28 в сценарии S1 до 41 в сценарии S4, вследствие чего общий объем смешанного потока изменялся от 85 до 98 заданий. Суммарная трудоемкость при этом возрастала от 696 до 728 чел/ч. (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики входного потока работ ТОиР.

Код сценария	Всего работ (ед.)	Суммарная трудоемкость (чел/ч.)	Работы (ед.)	
			Плановые	Внеплановые
S1	85	696	28	57
S2	90	707	33	57
S3	95	718	38	57
S4	98	728	41	57

Во всех сценариях ресурсные условия оставались неизменными. Для выполнения работ предусматривалось пять взаимозаменяемых ремонтных бригад. При продолжительности смены 8 ч и 22 рабочих днях располагаемый фонд времени на рассматриваемом горизонте составлял

$$F_H = 5 \cdot 8 \cdot 22 = 880 \text{ чел/ч.} \quad (4)$$

Следовательно, во всех сценариях суммарная трудоемкость входного потока оставалась ниже располагаемого фонда времени. Даже в наиболее нагруженном сценарии S4 расчетная трудоемкость составляла 728 чел/ч, то есть была на 152 чел/ч меньше доступного фонда. Таким образом, эксперимент не моделировал ситуацию абсолютного дефицита ремонтной мощности. Это позволяет анализировать возникающие отклонения не только как

следствие недостатка ресурсов, но и как результат действия временно-технологических ограничений.

Существенной особенностью *J* являлась высокая доля работ, выполнение которых зависело от технологической доступности оборудования. В каждом из рассматриваемых сценариев 67 заданий общей трудоемкостью 630 чел/ч. требовали наличия технологического окна или останова. Таким образом, значительная часть месячной трудоемкости не могла быть произвольно распределена в пределах доступного фонда времени, а должна была согласовываться с календарем остановов оборудования.

Для оценки выполнимости поток *J* анализировался с дискретностью один день. На каждом шаге расчетного периода для незавершенных заданий определялась их текущая доступность к запуску. Если выполнение работы было допустимо в рассматриваемую дату с учетом временных и технологических условий, задание включалось в множество кандидатов на исполнение. Если запуск в текущую дату был невозможен, но существовала последующая допустимая дата в пределах расчетного горизонта, задание сохранялось в потоке с отложенным запуском.

После определения доступных заданий выполнялось их продвижение к исполнению с учетом имеющегося фонда времени ремонтных бригад. В течение каждого расчетного дня фиксировались:

- количество заданий, доступных к запуску;
- количество заданий, отложенных до будущей допустимой даты;
- число заданий, переданных в исполнение;
- число фактически назначенных и завершенных работ;
- незавершенный остаток;
- задания, вышедшие за рекомендуемые сроки запуска;
- причины недопуска или отсрочки выполнения.

Такая организация эксперимента позволяет анализировать не только конечный результат выполнения месячной программы, но и динамику изменения ее фактической выполнимости. В частности, становится возможным различать ситуации, когда работа не выполняется из-за отсутствия ремонтного ресурса, и случаи, когда ресурс формально имеется, однако само задание временно недоступно вследствие ограничений по срокам или технологическим окнам.

Сценарии S1–S4 различались не только объемом плановой нагрузки, но и степенью динамичности условий прохождения потока. Сценарий S1 использовался как базовый режим

с минимальным влиянием возмущений. S2 соответствовал относительно низкой динамике, S3 соответствует более изменчивому режиму, S4 характеризуется наиболее напряженными условиями с высокой интенсивностью изменений.

При интерпретации результатов необходимо учитывать, что наряду с интенсивностью возмущений различались объем плановой нагрузки, а также политика определения очередности исполнения [7]. Поэтому сравнение S1–S4 используется для анализа поведения смешанного потока в различных режимах, а не для непосредственной оценки преимущества какого-либо отдельного правила приоритета [8, 9]. Это ограничение принципиально важно для корректности выводов. Различия между сценариями нельзя интерпретировать как изолированное сравнение результатов применения правил приоритета EDD, MS и WSPT [10].

Таким образом, экспериментальная постановка обеспечивает два существенных условия исследования. Во-первых, во всех сценариях сохраняется положительный интегральный баланс ремонтного ресурса. Во-вторых, значительная часть работ связана с временно-технологическими ограничениями. Это позволяет непосредственно проверить сформулированное положение о том, что достаточность суммарного фонда времени сама по себе не гарантирует фактическую выполнимость сформированного потока работ ТОиР.

4. Результаты оценки выполнимости и исполнения работ

Результаты вычислительного эксперимента показали, что различие между ресурсной обеспеченностью и фактической выполнимостью смешанного потока проявляется уже на начальном этапе расчетного периода. Несмотря на то, что суммарная трудоемкость работ во всех сценариях была ниже располагаемого фонда времени ремонтных бригад, значительная часть заданий не могла быть непосредственно запущена в работу из-за действующих временно-технологических ограничений.

В первый расчетный день к текущему рассмотрению в сценарии S1 были доступны 6 заданий, в S2 – 9, в S3 и S4 – по 20 заданий. При этом существенно большая часть открытого пула находилась в состоянии ожидания более поздней допустимой даты: 76 заданий в S1, 69 – в S2, 53 – в S3 и 56 – в S4.

Таким образом, для значительной части смешанного потока условие достаточности суммарного фонда времени не обеспечивало текущую выполнимость. Задания оставались потенциально выполнимыми в пределах горизонта, однако их запуск должен был быть отложен до момента выполнения соответствующих временных и технологических условий.

Динамика текущей и будущей допустимости различалась между сценариями. В S1 число заданий, доступных к рассмотрению, увеличилось с 6 до 20 к концу первой недели, одновременно количество заданий, ожидающих будущей допустимой даты, сократилось с 76 до 41. В S2 за тот же начальный период число доступных заданий увеличилось с 9 до 19, а отложенная часть сократилась с 69 до 39. Для S3 и S4 характер изменения потока был иным, где наряду с ростом числа доступных работ сохранялся значительный объем заданий с ожиданием переноса сроков. В S3 перенос составил 57 заданий, а в S4 – 65 заданий уже на второй неделе.

Полученный результат показывает два различных характера формирования отложенной части потока. В сценариях S1 и S2 ее максимальный объем в основном определялся начальным состоянием программы и далее сокращался по мере наступления допустимых дат. В сценариях S3 и S4 очередь переноса сроков частично формировалась повторно уже в ходе расчетного периода. В исходном эксперименте это интерпретировалось как более динамичное изменение состояния потока, при котором отложенные работы не только переходят к исполнению, но и вновь возникают вследствие изменения условий их допустимости.

Различия между сценариями наблюдались и при непосредственном продвижении заданий к исполнению. Максимальное число работ, выпущенных в исполнение за один день, в S1 и S2 составило 9 заданий, в S3 – 10, в S4 – 11. При этом пики активности приходились на разные даты расчетного периода.

За весь месяц было выполнено 101 назначение заданий в S1, 103 – в S2, 119 – в S3 и 126 – в S4. Максимальное суточное число назначений составляло соответственно 9, 8, 9 и 11.

Число назначений превышает количество уникальных заданий во входном потоке, поскольку часть работ выполнялась не за один расчетный шаг. Незавершенное задание возвращалось в последующий цикл распределения и могло повторно назначаться ремонтному ресурсу. Поэтому увеличение числа назначений в S3 и S4 отражает не только более высокую интенсивность продвижения, но и более выраженную необходимость повторного включения работ в оперативный цикл после частичного выполнения или переноса. Такая интерпретация непосредственно подтверждается результатами эксперимента.

Итоговые результаты исполнения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные показатели исполнения работ.

Код сценария	Всего работ (ед.)	Завершено (ед.)	Доля завершенных, %	Незавершенный остаток (ед.)
S1	85	81	95,3	4
S2	90	85	94,4	5
S3	95	94	98,9	1
S4	98	95	96,9	3

Полученные значения показывают, что во всех четырех сценариях была выполнена основная часть сформированного потока. Наибольшая относительная полнота выполнения была достигнута в S3. Однако использование только итоговой полноты выполнения не позволяет оценить, насколько устойчиво работы проходили через расчетный период и насколько соблюдалась рекомендуемая временная траектория их запуска. Для оценки временной согласованности потока анализировалось число заданий, вышедших за рекомендуемую верхнюю границу запуска. В начале месяца такие отклонения практически отсутствовали, однако к середине расчетного периода во всех сценариях наблюдалось их накопление.

В целом результаты эксперимента подтверждают сформулированное в разделе 2 положение: положительный интегральный ресурсный баланс обеспечивает потенциальную возможность выполнения программы, но не гарантирует текущую доступность всех работ. В течение расчетного периода значительная часть заданий последовательно переходила между состояниями текущей и будущей допустимости, а итоговая полнота выполнения сопровождалась различной глубиной временных отклонений.

5. Выводы

Проведенное исследование показало, что оценка выполнимости программы ТОиР не может ограничиваться сопоставлением суммарной трудоемкости работ с располагаемым фондом времени ремонтных бригад. В рассмотренных сценариях общий объем работ находился в пределах доступного ресурса, однако это не исключало возникновения отсрочек, переносов и незавершенного остатка.

Основным ограничивающим фактором для значительной части заданий выступала временно-технологическая доступность оборудования.

Установлено, что положительный интегральный ресурсный баланс следует рассматривать как необходимое, но недостаточное условие выполнения смешанного потока плановых и внеплановых работ. Для фактической выполнимости необходимо обеспечить одновременно наличие требуемого фонда времени, временную допустимость запуска и технологическую доступность соответствующего оборудования.

Результаты вычислительного эксперимента также показали, что итоговая полнота выполнения не отражает в полной мере характер прохождения потока.

Практический смысл полученных результатов заключается в том, что наличие невыполненного или перенесенного задания не должно автоматически интерпретироваться как следствие недостатка ремонтных ресурсов. До выбора корректирующего воздействия необходимо установить причину отклонения: дефицит фонда времени, отсутствие технологического окна либо временное несовпадение доступности задания и ремонтной мощности.

Таким образом, оценка выполнимости работ ТОиР должна рассматриваться как задача согласования трех элементов: смешанного потока работ, располагаемого фонда времени ремонтных бригад и технологической доступности оборудования. Такой подход позволяет перейти от агрегированной оценки ресурсной обеспеченности к анализу фактической реализуемости ремонтной программы и причин возникновения отклонений в процессе ее исполнения.

Список литературы

1. ГОСТ Р 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2017 г. N 186-ст.
2. ГОСТ Р 72422-2025 Станки металлорежущие. Принципы формирования плана планово-предупредительного ремонта станочного парка предприятия. Основные положения: нац. Стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2025 г. N 1677-ст.
3. Купреенко, А. И. Планирование технических обслуживаний и ремонтов оборудования / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, А. А. Рытчер // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 01–02 декабря 2022 года / Брянский государственный аграрный университет. Том

Часть 2. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2022. – С. 546-549. – EDN TDAEUK.

4. Новикова, Т. А. Разработка алгоритма планирования ремонтных работ в рамках организации технического обслуживания и ремонта / Т. А. Новикова, Е. В. Ляпунцова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 12. – С. 153-159. – https://doi.org/10.24412/2071-6168-2025-12-153-154. – EDN LSNQCV.
5. Кондратенко, Л. А. Использование математического моделирования прогноза состояния объекта в целях планирования технического обслуживания и ремонта / Л. А. Кондратенко // Газовая промышленность. – 2021. – № 3(813). – С. 86-87. – EDN WYCPDJ.
6. Насонов, М. А. Моделирование распределения загрузки ремонтных бригад при планировании технического обслуживания и ремонтов оборудования на промышленном предприятии / М. А. Насонов, С. А. Манцеров // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 51-59. – https://doi.org/10.12737/2219-0767-2025-51-59. – EDN XFGNMX.
7. Насонов, М. А. Управление потоками заданий ремонтных бригад на основе правил приоритета / М. А. Насонов, С. А. Манцеров // Программные продукты и системы. – 2026. – № 1. – С. 144-156. – https://doi.org/10.15827/0236-235X.153.144-156. – EDN GKBHTS.
8. Pinedo, M. L. Design and Implementation of Scheduling Systems: More Advanced Concepts / M. L. Pinedo // Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. – 6th ed. – Cham: Springer, 2022. – P. 493–517. – https://doi.org/10.1007/978-3-031-05921-6_18.
9. Мауэргауз, Ю. Е. Динамическое групповое планирование для участка из параллельных машин / Ю. Е. Мауэргауз // Техника машиностроения. – 2013. – № 1(85). – С. 50-62. – EDN SAJQMJ.
10. Pinedo, M. L. Modeling and Solving Scheduling Problems in Practice / M. L. Pinedo // Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. – 5th ed. – Cham: Springer, 2016. – P. 431–458. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-26580-3_16.