

лофрезы, где упругие деформации игл остаются малыми, превалирующей причиной разрушения игл является цикличность нагружения. Таким образом, усталостная прочность игл оказывается дополнительным ограничивающим фактором для скорости резания наряду с износом от трения.

Основным способом крепления игл у корня остаётся сварка, поэтому упругость и прочность иглы у корня в значительной мере утрачивается. Естественно, что разрушение иглы происходит именно в месте крепления, и, чем больше число оборотов вращения иглофрезы, тем быстрее наступает разрушение игл в месте крепления. Подразумевая под стойкостью иглофрезы время, в течение которого игла сохраняет режущие свойства, следует учитывать эффект самозатачивания. Износ от трения, которым сопровождается процесс иглофрезерования, происходит по передней поверхности иглы и, по мере затупления режущей кромки с одной стороны, достаточно изменять направление вращения, чтобы износ иглы происходил с противоположной стороны. Время от времени, однако, необходимо, перешлифовывать иглофрезу, т.к. после нескольких циклов реверсирования торец иглы затупляется. Практически потеря режущих свойств от износа и уменьшения длины иглы редко наступает до разрушения игл. Очевидно, для увеличения стойкости иглофрезы надо стремиться к сокращению частоты вращения. Встречающиеся в некоторых источниках [1, 2] указания на стойкость иглофрез 500...600 час при вращении с частотой 150...200 об/мин нельзя считать точными. Подобную стойкость можно достигнуть только при весьма малой (25...30 об/мин) частоте вращения.

Таким образом, иглофреза – своеобразный многолезвийный инструмент, работающий в широком диапазоне изменения скорости и подачи, что сближает его с обычным металлорежущим инструментом, сформированным из множества отдельных игл – микрорезцов, обладает рядом специфических особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Параметрами характеризующим процесс резания при иглофрезеровании являются скорость резания, подачи, плотность укладки игл, усилие прижима иглофрезы к заготовке.

### Литература

1. Очистка стали от окалины в прокатных станах. Европейское объединение угля и стали, проект конечного отчета 7210 EA/818, 1992.
2. Платов С. И., Терентьев Д. В., Мустафин Ф. Т., Анцупов А. В. Математическое моделирование процесса механической подготовки поверхности заготовки для волочения, журнал "Метизы" № 2(12)-2006
3. N.J. Silk. The impact energy primary descaling //STEEL TIMES. May 1999.

### ***Повышение эффективности транспортных систем путем оптимизации материальных потоков на производственных участках механосборочного производства***

Горский С.С.  
МГТУ «СТАНКИН»

В последние десятилетия нестабильность в общественной, политической, экологической и технологической сферах постоянно возрастает, что намного сильнее, чем раньше, отражается на рынках, товарах, предприятиях и тем самым на конкурентной борьбе. Прерывистость развития, а также сложность и динамичное изменение окружающей среды привели к значительной трансформации общих рамочных условий хозяйственной деятельности предприятий, особенно для тех из них, которые работают в высокотехнологичной сфере. Многие отрасли ввиду нарастающих изменений окружающих рыночных условий и глубинных структурных преобразований в мировой экономике стоят перед лицом чрезвычайно сложных и ответственных решений.

Для традиционных технологий можно констатировать всё большее насыщение рынка и

стагнацию развития этих технологий. Основные потребности потребителей в развитых индустриальных странах уже полностью удовлетворены. В результате этого, а также вследствие постоянно растущей производительности труда избыток производственных мощностей на промышленных предприятиях становится уже не эпизодическим, а всё более частым явлением. Развитие базисных технологий во многих областях практически достигло своего предела, и в дальнейшем возможны только частичные улучшения. На рынках постоянно внедряются новые технологии, которые постепенно вытесняют базисные.

Машиностроению принадлежит одна из ведущих ролей в хозяйственной деятельности. Для машиностроительных предприятий с серийным типом производства одной из основных проблем является необходимость периодического изменения структуры производства вследствие неустойчивости номенклатуры производимой продукции, изменения серийности, морального и физического износа технологического оборудования. Такое изменение проводится в ходе реконструкции и технического перевооружения предприятий.

В условиях современного производства при проектировании предприятий с мелко- и среднесерийным типом производства перед проектировщиком стоят задачи, достигающие максимальной сложности. Научные основы технологического проектирования таких машиностроительных предприятий не получили необходимого развития, и в настоящее время не позволяют обеспечить высокую экономическую эффективность принимаемых решений. До сих пор практикуется проектирование «вручную», которое является достаточно трудоёмким и длительным процессом. Это приводит к тому, что проектировщик оперирует приближенными моделями в ходе принятия решения или использует ранее выполненные разработки.

Одним из эффективных подходов при проектировании машиностроительных предприятий с серийным типом производства может послужить использование современных информационных технологий с опорой на методологию принятия технологических решений.

При таком подходе возможно ускорение принятия технологических решений и повышение степени детализации проработки проекта. Ещё одним доводом в пользу применения современных информационных технологий и вычислительной техники служит возможность создания большего числа вариантов проектных решений и выбора лучшего из них. Эта возможность при применении на различных этапах проектирования ведёт к существенному повышению качества проекта.

Немаловажно и то, что в условиях современного производства необходимо уделять внимание повышению конкурентоспособности выпускаемых изделий. Вопросы эти требуют зачастую серьёзных капиталовложений, что, несомненно, накладывает свой отпечаток на цену производимого товара, повышая его себестоимость.

В данной статье рассматривается вопрос снижения затрат на транспортирование изделий в механосборочном производстве путём оптимизации материальных потоков на производственном участке за счёт рациональной расстановки оборудования на нём.

Транспортная система оказывает большое влияние на работу всей производственной системы в целом, так как она отвечает за своевременную загрузку и разгрузку основного оборудования заготовками и инструментом, а также за выполнение складских операций. Следовательно, оптимальные материальные потоки и структура транспортной системы в значительной степени определяют загруженность оборудования, величину занимаемой площади, количество потребляемой энергии, эксплуатационные расходы, что в конечном итоге скажется на себестоимости изготовления изделий.

Назначение транспортной системы, в основном, следующее: доставка со склада в требуемый момент времени к требуемому производственному участку грузов; доставка, ориентирование и установка полуфабрикатов в требуемый момент времени на требуемое оборудование; съём полуфабрикатов или готовых изделий с оборудования и последующее транспортирование их в заданный адрес; отправка в накопитель грузов и выдача их из накопителя в

требуемый момент времени; доставка полуфабрикатов или готовых изделий в производственных участках на склад.

Технологическое оборудование переставляется в определённых целях, например, при реструктуризации, техническом перевооружении или реконструкции существующего производства, а также при проектировании нового производства.

Пространственная компонента структуры технологической системы, задаваемая расположением станков и отражающая группирование изделий, определяет характеристики материальных потоков. С организацией материальных потоков связано от 10% до 60% (а иногда и до 80%) затрат на изготовление конечного изделия. Очевидно, что для снижения общей суммы затрат необходимо улучшать структуру производства, в том числе за счёт перемещения основного оборудования и перегруппирования изделий, другими словами, необходимо организовывать технологически ориентированные структуры оборудования. При этом объективно существует потребность в разработке и совершенствовании научно-методических основ подобного рода реструктуризации.

Таким образом, вопросы, затрагивающие структуру технологических систем серийного производства в машиностроении, её анализ и синтез, возможности её совершенствования, представляют большой научный интерес.

Эффективность производственного процесса во многом зависит от способа реализации транспортирования, поскольку транспортные операции являются непосредственным выражением связей между отдельными этапами технологического процесса. Транспортная система должна своевременно и в требуемой последовательности обеспечить выполнение всех запросов основного оборудования, накопителей и склада в необходимых заготовках, полуфабрикатах и готовых изделиях.

Основным путём снижения трудоёмкости транспортных операций является применение автоматизированных транспортных средств на производственных участках и в цехах (подвесные толкающие конвейеры, самоходный тележечный транспорт с управлением от ЭВМ, робокары, роликовые конвейеры с принудительным вращением и перегрузочными устройствами, подвесные краны-операторы с дистанционным управлением и т.д.). Использование однотипных транспортных средств в производственной системе упрощает их управление и обслуживание.

Для автоматизации загрузки и разгрузки основного оборудования, а также стыковки его с транспортной системой следует использовать промышленные роботы.

При технологическом проектировании участков и цехов существуют различные принципы их формирования, которые зависят от номенклатуры и объёма выпуска изделий, определяющих форму организации производства.

В рассматриваемом случае, когда производственный процесс характеризуется постепенным увеличением номенклатуры изготавливаемых изделий, целесообразно использовать общность технологических маршрутов их изготовления и формировать производственные участки, применяя предметный принцип.

На основании этого принципа и предварительно определенного состава и количества технологического оборудования, используемого в цехе, определяют состав и количество станков на производственных участках.

Современное механосборочное производство представляет собой сложную динамическую систему. Процесс его проектирования включает в себя четыре последовательно выполняемых этапа: структурно-функциональный, алгоритмический, параметрический и планировочный. В случае масштабности проектной задачи процесс синтеза окончательного результата может включать в себя несколько циклов с различной детализацией данных и уровнем принимаемых решений, каждый из которых будет содержать в себе все указанные этапы. Например, в случае проектирования цеха таких цикла – два: результатом первого служит компоновка цеха, второго – планировка участков.

Суть структурно-функционального этапа заключается в синтезе структурной модели, которая отражает состав, тип и взаимосвязь элементов, и функциональной модели, учитывающей свойства элементов и системы, необходимые для выполнения ими своего служебного назначения. При проектировании технологической системы производственного подразделения на этом этапе выполняется формирование совокупности технологических процессов, закладываемых в основу процесса проектирования, определение технологического оборудования, выбор состава участков, выбор состава и количества станков по участкам и т.д.

Алгоритмический этап проектирования включает в себя составление алгоритмической модели, содержащей взаимные связи между элементами и системами в процессе производства. На данном этапе проектирования выполняется выбор дисциплины обслуживания заготовок, составление расписаний для подтверждения достаточности рассчитанного количества оборудования (при необходимости).

На параметрическом этапе проектирования производится определение количественных значений взаимосвязей между отдельными физическими параметрами элементов системы. Параметрические модели представляют собой уравнения материально-энергетического баланса в различных проявлениях. На данном этапе рассчитываются характеристики потоков: материальных, энергетических, информационных. На основе этих расчетов определяется состав и количество вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, накладываются требования на инфраструктуру производства.

На окончательном, планировочном этапе решается задача размерных связей между отдельными элементами системы. Модели этого этапа аналогичны структурным, но отношения между элементами оцениваются в метрике евклидова пространства. Результатом этапа служит планировочное решение участков.

Следует отметить, что каждый этап синтеза технологической системы производства можно разделить на множество подэтапов, обладающих собственными ограничениями. Вследствие этого сам процесс проектирования можно осуществить двумя принципиально различными путями:

- а) с введением в процесс обратных связей, позволяющих вернуться на предыдущий этап в случае непрохождения ограничений;
- б) с разбивкой этапов на множество проектных задач, выстраиваемых затем по порядку, уменьшающему или исключаяющему необходимость возврата.

У рассматриваемых технологических систем серийного производства существует ряд особенностей, не присущих единичному и массовому производству. Речь идёт о необходимости структуризации совокупности технологических процессов изготовления изделий, входящих в программу выпуска. Структуризация такого рода позволяет повысить организационный уровень прочих составляющих технологической системы и понизить время, связанное с переходом от изготовления одного вида изделия к изготовлению другого.

Процесс структуризации совокупности технологических процессов называется унификацией. В ходе унификации осуществляется переход от множества единичных ТП к меньшему унифицированным ТП

Критерием для оценки при выборе оптимальной схемы расположения технологического оборудования принимается минимум мощности грузопотока или материального потока.

Грузовые потоки цеха представляют собой определенную схему движения предметов труда в соответствии с последовательностью производственного процесса. Грузопотоки классифицируют по следующим признакам в зависимости от массы: миниатюрные (до 0,01 кг), легкие (0,01-0,05кг), средние (0,5-16 кг), переходной массы (16-125 кг), тяжелые (более 125 кг); в зависимости от способа загрузки: в таре, без тары, навалом, ориентированные, касетированные в пакетах, на спутниках; в зависимости от формы: тела вращения, корпусные и др.; в зависимости от материала: металлические, неметаллические и т.д.; в зависимости от свойств материала: твёрдые, хрупкие, пластичные, магнитные.

Организация оптимальных грузопотоков включает в себя решение таких задач, как сокращение общей длины транспортных путей, пересечений и разветвлений, исключение транспортных петель и возвратных трасс, обеспечение ремонтпригодности транспортных средств. Это приводит к снижению капитальных и эксплуатационных затрат.

Для оптимальной схемы расстановки станков на производственном участке потребуется меньшее количество транспортных средств, сократятся простои оборудования и улучшится управление производством. Также оптимизация расстановки оборудования на производственном участке позволяет сократить энергетические затраты.

Для достижения данной цели, то есть для сокращения мощности материального потока путём применения рациональной расстановки оборудования на производственном участке, необходимо применить методы оптимизации в процессе выбора наиболее рациональной схемы расположения технологического оборудования на предметных участках.

В качестве подходящих для выбора наиболее рациональной схемы расположения технологического оборудования на предметных участках методов оптимизации, методов математического (имитационного) моделирования рассматриваются следующие методы:

1. Методы перебора, симплекс-метод, динамическое программирование;
2. Метод графов;
3. Метод Монте-Карло.

Выбор рациональной схемы расположения технологического оборудования на предметных участках проводится по разработанной методике, основанной на положениях метода графов.

Исходными данными для такого расчёта являются номенклатура обрабатываемых деталей, технология изготовления каждого наименования деталей (представляется в виде последовательности единиц оборудования, на которых проводится конкретный вид механической обработки), величина материального потока или грузопоток в тоннах для каждого наименования обрабатываемых деталей.

Эти данные сведены в соответствующую таблицу:

Таблица 1

Номер детали	Технологический маршрут	Грузопоток, т
1	3 – 6 – 1 – 4 – 5	3
2	4 – 2 – 6 – 5	1
3	2 – 5 – 4	5
4	1 – 3 – 2	2

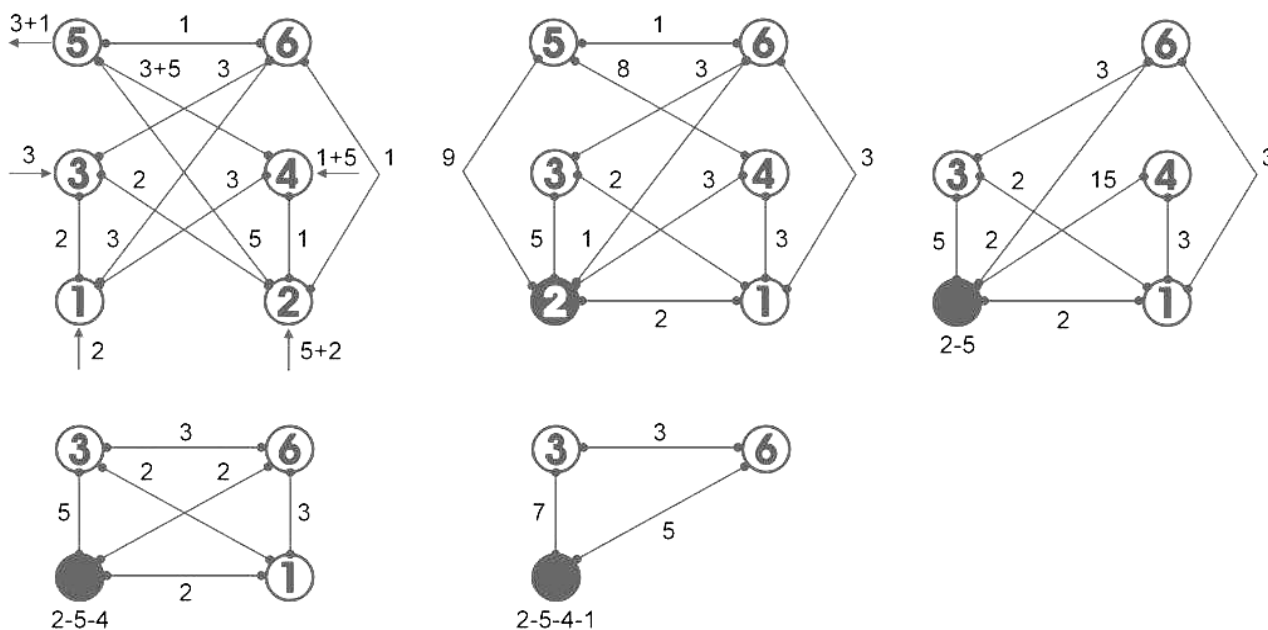
Для построения матрицы схемы расположения технологического оборудования строят граф материальных связей между технологическим оборудованием (рис. 1) для произвольного двухрядного его расположения как наиболее часто встречаемого в производстве.

Ребра графа отображают величину грузопотока между отдельным оборудованием. Рассматривается построение матрицы, когда вход и выход с производственного участка совпадают. В этом случае сокращается количество холостых пробегов внутрицехового транспорта.

На основании анализа полученных результатов расчетов определяют станок с наибольшим потенциалом, который располагают на первой позиции. С учетом размещения этого станка на первой позиции преобразуется граф. В соответствии с полученными значениями потенциалов заполняют матрицу схемы расположения станков на производственном участке.

После заполнения матрицы проводят проверку на достижение минимальной мощности грузопотока. Для этого в правую часть каждой клетки матрицы записывают согласно технологическому маршруту величину, характеризующую изменение энергии грузопотока. При этом пользуются следующими правилами: если оборудование, с которого начинается грузопоток, расположено в соседнем ряду, то проставляют величину грузопотока для рассматриваемого технологического маршрута; если оно расположено через один ряд, то записывают отрицательную величину грузопотока; если через два ряда, то удвоенную отрицательную ве-

личину грузопотока и так далее; если оборудование по технологическому маршруту находится в одном ряду, то записывают удвоенную величину грузопотока.



**Рис. 1. Графы материальных связей между технологическим оборудованием (1-й ряд- а, б, в; 2-ой ряд- г, д)**

После расчета энергии грузопотока по всем технологическим маршрутам и заполнения ориентированной по входу (выходу) матрицы, определяют суммарную величину энергии каждой единицы оборудования, которая записывается в правой части клетки матрицы, и суммированием энергии по всем единицам оборудования находят энергию грузопотока построенной схемы расположения оборудования.

Для проверки оптимальности схемы расположения оборудования производят перестановку оборудования, имеющего наименьший потенциал, и для вновь построенной матрицы по вышерассмотренной методике определяют энергию и сопоставляют ее с первоначальной.

Если энергия меньше, то первоначально построенная схема рациональнее, а если больше, производят дальнейший поиск в той же последовательности до тех пор, пока не получат схему с наибольшей потенциальной энергией грузопотока.

В условиях автоматизированного проектирования возможен автоматический поиск оптимальной схемы расположения оборудования на производственном участке по алгоритму, в который заложены изложенные выше положения (рис. 2).

Разработанную методику построения схем расположения технологического оборудования на предметных участках, в основе которой лежат положения всех указанных выше методов оптимизации, можно использовать не только при проектировании гибких автоматических участков, но и при их эксплуатации за счёт перемонтажа станков при изменении номенклатуры изделий, обеспечивая тем самым планировочную гибкость производства.

Организациями-проектировщиками и технологическими отделами машиностроительных предприятий может быть использовано программное обеспечение, разработанное на основе предлагаемой методики, для целей проектирования производственных участков, а также при реструктуризации, техническом перевооружении или реконструкции существующего производства.

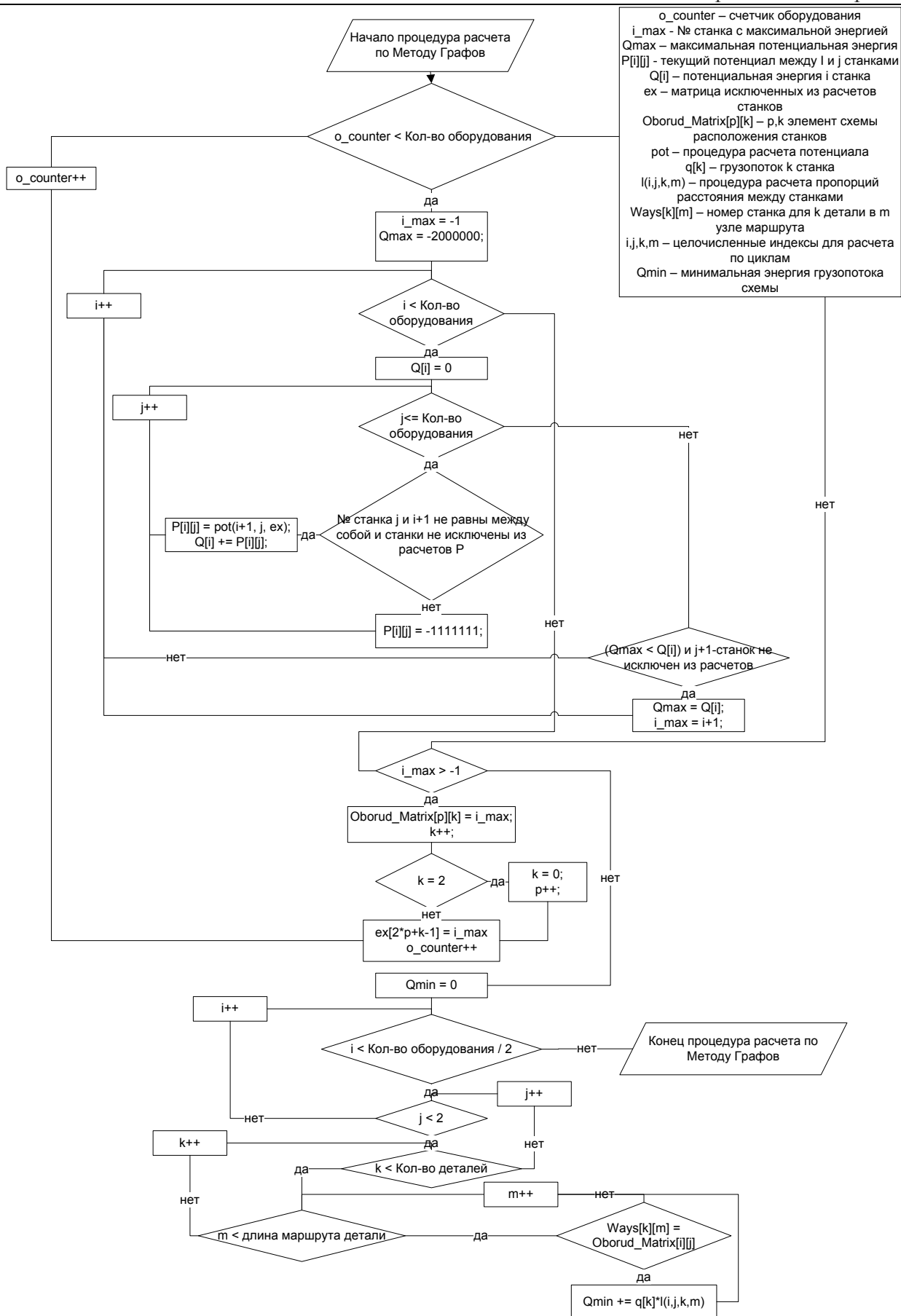


Рис. 2. Метод Графов